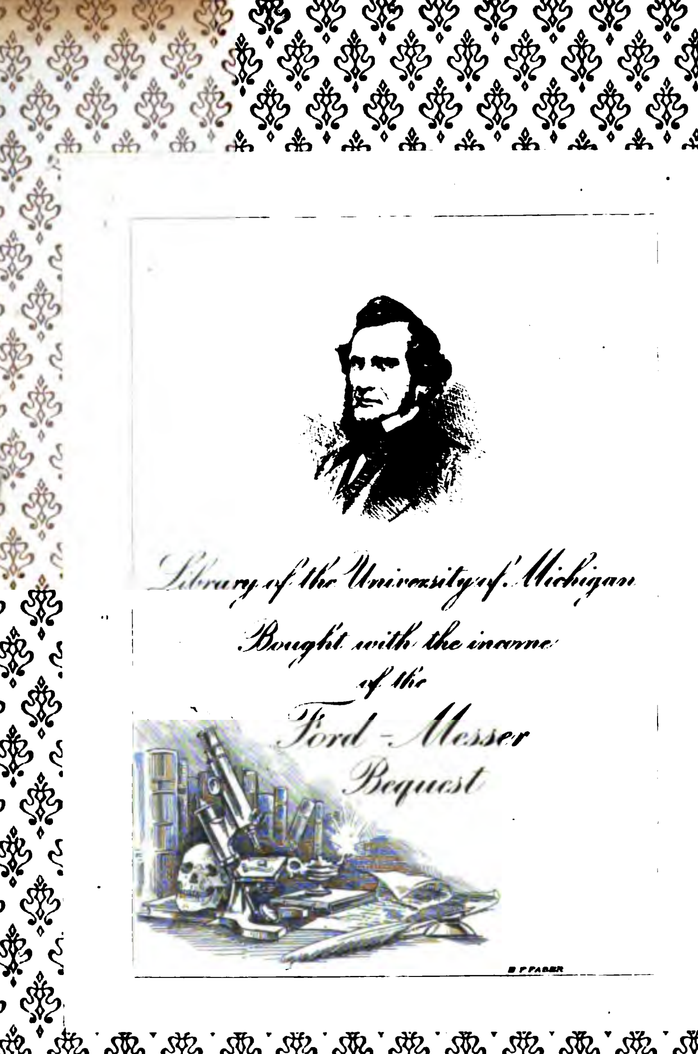
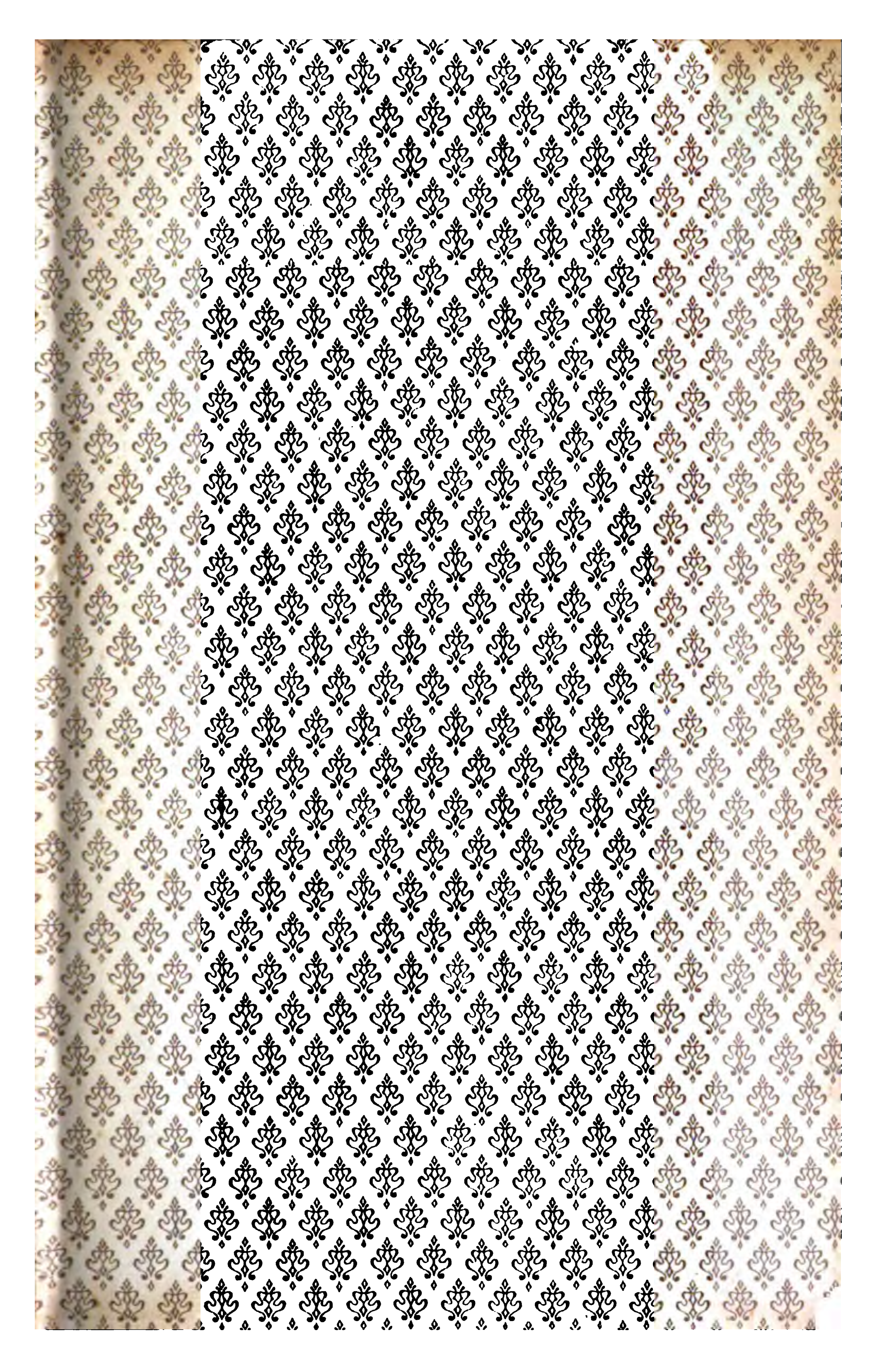

Library of the University of Michigan
Bought with the income
of the
Ford - Messer
Bequest



MÉMOIRES COURONNÉS

ET

AUTRES MÉMOIRES

MÉMOIRES COURONNÉS

ET

AUTRES MÉMOIRES

PUBLIÉS PAR

L'ACADÉMIE ROYALE

DES SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS DE BELGIQUE

—

COLLECTION IN-8°. — TOME LXIV



BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES, DES LETTRES ET DES BEAUX-ARTS DE BELGIQUE

rue de Louvain, 112

—

Avril-Décembre 1903

L'ASSAINISSEMENT

ET LE

REPEUPLEMENT DES RIVIÈRES

PAR

le Prof[r] D[r] C. WEIGELT
DE BERLIN

(TRADUCTION FRANÇAISE DE M. LE PROF[r] C. JULIN)

(Couronné par la Classe des sciences dans les séances du 15 décembre 1888
et du 15 décembre 1902.)

PRIX EDMOND DE SELYS LONGCHAMPS.

AVANT-PROPOS

« En 1884, feu M. le baron Edmond de Selys Longchamps mettait généreusement à la disposition de la Classe des sciences de l'Académie une somme de *trois mille francs*, destinée à récompenser l'auteur d'un mémoire répondant d'une manière satisfaisante à la question suivante :

» 1° *Quelles sont les matières spéciales aux principales industries qui, en se mélangeant avec les eaux de petites rivières, les rendent incompatibles avec l'existence des poissons et impropres à l'alimentation publique, aussi bien qu'au bétail;*

» 2° *Une liste des rivières de Belgique qui, actuellement, sont dépeuplées par cet état de choses, avec l'indication des industries spéciales à chacune de ces rivières, et la liste des poissons comestibles qui y vivaient avant l'établissement de ces usines;*

» 3° *La recherche et l'indication des moyens pratiques de purifier les eaux à la sortie des fabriques pour les rendre compatibles avec la vie du poisson sans compromettre l'industrie, en combinant les ressources que peuvent offrir la construction de bassins de décantation, le filtrage, enfin l'emploi des agents chimiques;*

» 4° *Des expériences séparées sur les matières qui, dans chaque*

industrie spéciale, causent la mort des poissons, et sur le degré de résistance que chaque espèce de poisson comestible peut offrir à la destruction.

La Classe des sciences ouvrait à cet effet un concours extraordinaire en vue de provoquer la solution de cette question.

Dans sa séance du 15 décembre 1888, elle accordait une médaille d'or de la valeur de mille francs à un mémoire écrit en allemand et portant l'épigraphe : *Trutta.*

Ce mémoire, dont la valeur scientifique était indéniable, répondait spécialement aux paragraphes 1 et 4 de la question posée.

L'auteur, M. le Prof[r] D[r] Weigelt, de Berlin, invité à compléter son travail, a remis à l'Académie un texte complètement remanié et très développé du mémoire primitif. C'est ce travail définitif, mis au courant de la science actuelle, que la Classe des sciences, dans la séance du 15 décembre 1902 [1], a jugé digne de l'impression et auquel elle a accordé alors une somme de quinze cents francs pour constituer, avec la médaille précitée, le prix de Selys Longchamps.

La traduction française de ce mémoire a été faite par M. Ch. Julin, professeur à l'Université de Liége, à qui l'Académie, autant que la famille de Selys Longchamps, adresse des remerciements à ce sujet. »

[1] Voir *Bulletin*, 3e série, tome III, p. 462; IV, 2, 292; XIV, 402; XVI, 660, 686, 694, 750; XVII, 126, et 1902, 925.

L'ASSAINISSEMENT

ET LE

REPEUPLEMENT DES RIVIÈRES

Il ne paraît pas douteux que la question mise au concours a pour but principal l'étude des moyens à employer pour empêcher le dépeuplement des rivières et pour assurer la conservation et la prospérité du poisson. Elle fait bien mention de l'action nuisible que peut exercer sur l'homme et les animaux domestiques l'eau de rivière, utilisée pour la consommation, lorsqu'elle est polluée par les résidus de l'industrie ; mais il me semble que cette considération n'arrive qu'en seconde ligne. Il y est, en outre, parlé des besoins et des exigences de l'industrie, qu'il s'agit de ne pas *compromettre*. Il faut donc concilier les intérêts, en apparence inconciliables et opposés, de la conservation du poisson et du repeuplement des rivières avec ceux de l'industrie. La question, mise à l'étude, considère cette solution non seulement comme possible, mais même comme devant être obtenue d'une façon absolue. C'est ce qu'il ne m'a pas semblé superflu de faire ressortir tout d'abord. Il faut, par conséquent, rechercher les moyens dont nous pouvons disposer pour lutter contre la souillure de nos cours d'eau, et cela sans partialité, c'est-à-dire en nous abstenant de tout sentiment de bienveillance exagérée pour nos pêcheries fluviales.

Avoir la prétention de conserver absolument pures les eaux de nos rivières reviendrait, comme nous le verrons plus loin, à arrêter toute industrie qui y déverse ses produits résiduaires.

La question mise au concours comprend quatre points différents, indiqués respectivement par les quatre alinéas.

N'ayant pas été à même de réunir des renseignements spéciaux sur l'alinéa 2°, je me trouve obligé de renoncer à y répondre [1].

Des trois autres alinéas, le 4° est à coup sûr le plus important. En effet, il est impossible de donner la moindre réponse au 1° et au 3° si l'on n'a, au préalable, résolu de la façon la plus complète le 4° de la question, les résultats fournis par l'étude de ce dernier point pouvant seuls donner la clef de la solution des deux autres.

Qu'il me soit donc permis de placer en première ligne le 4° de la question, et de commencer par exposer les nombreuses recherches expérimentales que j'ai entreprises pour résoudre ce point. J'adjoindrai à mes propres expériences sur ce sujet celles qui ont été faites — à ma connaissance du moins — par d'autres auteurs, dans le but d'établir le pouvoir de résistance qu'offrent les poissons aux éléments constitutifs d'eaux industrielles et d'eaux vannes.

Si je crois indispensable de traiter tout d'abord ce quatrième point de la question posée, c'est que, pour arriver, comme l'exige le 1°, à indiquer quelle est l'influence qu'exercent sur l'existence du poisson les résidus des principales industries,

[1] Dans le but visé par ce deuxième point de la question, les « Sociétés de pêcheries » (*Fischerei Vereine*) d'Allemagne ont, en ces dernières années, tenté d'établir aussi clairement que possible, sous forme de cartes des pêcheries, l'état actuel des cours d'eau dans les diverses parties du territoire allemand. Je renverrai donc à la bibliographie allemande relative à ce sujet.

En outre, certains États de l'Empire se sont efforcés de réglementer, par des décrets, l'épuration des cours d'eau. Je citerai tout spécialement l'arrêté pris, le 20 février 1901, par le Gouvernement prussien, et contresigné par cinq ministres, concernant « les mesures à prendre pour épurer les cours d'eau ».

Ce décret contient une foule de mesures qui seraient parfaitement applicables à la Belgique.

résidus dont la composition absolue et la composition relative varient considérablement, nous devons avant tout déterminer, par des recherches séparées, quelles sont les substances qui sont toxiques pour les poissons et quelles sont l'intensité et la rapidité de leur nocuité.

Toutefois, cette question ne peut être complètement résolue en elle-même sans tenir compte d'une question préalable.

Aucune de nos rivières ne contient une eau pure. Toutes, au contraire, se polluent dans leur cours naturel. Elles reçoivent des éléments qui, bien qu'indispensables à l'existence des poissons, ne sont pas moins des impuretés à un autre point de vue.

Cependant ces impuretés naturelles, utiles et même nécessaires aux poissons, impuretés dont la présence n'est nullement due à l'industrie, peuvent exister en excès dans les cours d'eau et exercer alors une action réellement nuisible sur les poissons.

Dans ce cas, comme cela arrive, par exemple, quand une rivière, dont le courant était auparavant rapide, vient à s'envaser, il peut en résulter dans la nature de sa faune, des modifications portant sur les espèces et le nombre des poissons qui y vivent.

Or, sans l'examen de la question préalable à laquelle je fais allusion, on ne peut non plus, comme l'exige le 1° de la question mise au concours, déterminer nettement quelles sont les actions qu'exercent sur la vie des poissons les impuretés déversées dans les cours d'eau par l'industrie, attendu que ces impuretés industrielles peuvent elles-mêmes, selon les circonstances, être essentiellement modifiées par les éléments naturels des eaux, de façon qu'il en résulte soit une détérioration, soit une réelle amélioration de ces eaux.

Nous devons donc faire précéder l'étude du 1° de la question mise au concours, de l'examen de cette question préalable : « Quelle est la constitution d'une eau normale pour les poissons? »

Cette étude sera suivie de celle du 1° de la question mise au concours.

Toutefois, je me propose de traiter séparément la dernière partie du 1°, c'est-à-dire de rechercher les matières spéciales aux principales industries qui, en se mélangeant avec les eaux des petites rivières, les rendent impropres à l'alimentation publique aussi bien qu'au bétail. Ce point ne se rattache, en effet, nullement au 3°.

Enfin, comme on ne peut contester que la *question des eaux potables* ne doive également être prise en considération, je traiterai séparément la recherche et l'indication des moyens pratiques de purifier les eaux à la sortie des fabriques pour les rendre propres à l'alimentation publique aussi bien qu'à celle du bétail.

En conséquence, je me propose de répondre aux différents membres de la question dans l'ordre suivant :

I. (4°). — *On demande des expériences séparées sur les matières qui, dans chaque industrie spéciale, causent la mort des poissons et sur le degré de résistance que chaque espèce de poisson comestible peut offrir à la destruction.*

Quels éléments naturels existent dans nos cours d'eau naturels et quelle influence exercent-ils sur la vie des poissons ?

II. (1°1). — *Quelles sont les matières spéciales aux principales industries qui, en se mélangeant avec les eaux des petites rivières, les rendent incompatibles avec l'existence des poissons ? Dans quelles proportions interviennent-elles dans la composition des eaux résiduaires des diverses industries ?*

III. (3°1). — *La recherche et l'indication des moyens pratiques de purifier les eaux à la sortie des fabriques pour les rendre compatibles avec la vie du poisson, sans compromettre l'industrie, en combinant les ressources que peuvent offrir la construction de bassins de décantation, le filtrage, enfin l'emploi des agents chimiques.*

IV. (1°2). — *Quelles sont les matières spéciales aux principales industries qui, en se mélangeant avec les eaux des petites rivières, les rendent impropres à l'alimentation publique aussi bien qu'au bétail ?*

V (3°2). — *La recherche et l'indication des moyens pratiques de purifier les eaux à la sortie des fabriques pour les rendre propres à l'alimentation publique aussi bien qu'au bétail.*

Qu'il me soit permis tout d'abord d'exposer quelques considérations générales relatives à l'étude que nous allons entreprendre.

La question mise au concours ne fait pas seulement allusion aux substances qui déterminent la mort des poissons; mais elle exige aussi que l'on prenne en considération le degré de résistance qu'offrent à leur propre destruction les différentes espèces de nos poissons comestibles. Elle suppose donc que ces différentes espèces peuvent résister différemment à l'action des substances chimiques constituant les résidus des fabriques.

Mais il s'en faut de beaucoup que la recherche de ces données soit la seule qu'exige la solution de la question qui fait l'objet de ce mémoire.

Le but principal de la question mise au concours me paraît être d'augmenter, dans les plus grandes limites possible, le repeuplement de nos cours d'eau, souvent intoxiqués aujourd'hui, afin de nous rapprocher, aussi près que possible, de l'état normal ou mieux de l'état idéal.

Si nous étudions la force de résistance qu'offrent les différentes espèces de poissons aux divers agents toxiques, il se présente alors à trancher une autre proposition : à quel âge devons-nous prendre les individus que nous voulons soumettre à nos expériences?

Si les expériences ne portaient que sur des animaux ayant la taille et l'âge qu'ils possèdent lorsqu'ils servent habituellement de nourriture à l'homme, sans avoir recherché au préalable si la sensibilité, la force de résistance aux influences nuisibles qu'ils offrent à ce moment de leur existence est la même qu'aux époques antérieures de leur vie, nous risquerions, pour le cas où il n'en serait pas ainsi, de n'arriver qu'à trouver le moyen de conserver le poisson, sans assurer sa reproduction naturelle, sa multiplication.

Il ne s'agit, en effet, pas seulement de mettre la population adulte de nos rivières à l'abri de l'influence pernicieuse qu'exercent sur elle les résidus des fabriques; mais nous devons encore nous occuper spécialement des jeunes générations, chercher également à protéger les jeunes poissons. Nous devons même étudier quelles sont les conditions nécessaires à la reproduction, pour obtenir une multiplication normale. En d'autres termes, nos recherches sur la nocuité des différentes substances déversées dans nos cours d'eau par nos établissements industriels, doivent porter sur le degré de sensibilité que présente chaque espèce de poisson *à tous les stades de son développement*. Nous devons remonter jusqu'à l'embryon encore pourvu de son sac vitellin, jusqu'à l'œuf fécondé et même plus haut encore. En effet, l'œuf résistât-il à l'action de certaines substances d'une concentration déterminée, nous ne pourrions encore en conclure que la reproduction naturelle serait assurée, si nous ne démontrions en même temps que le sperme ne subit, lui aussi, la moindre altération dans le même milieu.

S'il était démontré d'une façon manifeste que les résidus d'une industrie déterminée n'altèrent aucune espèce de poissons à aucun moment de leur développement, ni même leur sperme, nous serions autorisés à admettre qu'ils n'exercent *directement* aucune influence nuisible sur l'existence du poisson ni sur son bien-être. Mais nos recherches ne seraient pas encore complètes. En effet, des substances qui ne nuisent pas directement aux poissons, à aucun moment de leur existence, ne restent pas nécessairement pour cela sans influence sur la conservation, la croissance et la reproduction de la flore et de la faune du cours d'eau. Or, l'influence qu'exercent la flore et la faune de nos rivières sur la multiplication, l'accroissement et la prospérité des poissons, n'est pas moindre que celle exercée par la nature de l'eau au milieu de laquelle ils vivent. Omettre de s'occuper de l'action exercée sur la faune et la flore de nos cours d'eau équivaudrait à entreprendre de soustraire l'homme à l'atmosphère malsaine des grandes villes, en le plaçant dans l'air pur et sain des régions alpines, sans se préoccuper en

même temps de ses moyens de subsistance, de sa nourriture. Chez le poisson aussi, le souci de trouver sa pâture l'emporte sur les inconvénients qu'il éprouve à nager dans une eau malsaine. J'ai eu maintes fois l'occasion de constater que le poisson évite, pour autant qu'il puisse s'y soustraire, de séjourner dans une eau intoxiquée, par exemple dans de l'eau chargée de chlore libre. Or, je sais cependant que, pour arriver à s'emparer d'un appât séducteur, la truite peut traverser rapidement une couche d'eau de plusieurs mètres chargée de chlore : c'est une expérience qu'il est aisé de répéter.

De même que pour se procurer de la nourriture, le poisson n'hésite pas à affronter le danger qu'il y a pour lui à traverser de l'eau empoisonnée, il n'hésiterait pas à fuir l'eau la plus pure et la meilleure, si elle ne pouvait lui fournir la nourriture nécessaire à son existence. Il pourrait donc très bien se faire que, par un mode d'épuration absolue, nous arrivions à obtenir une eau débarrassée de tout corps nuisible, mais qui, sans exercer d'influence directe sur le poisson, entraînerait cependant sa disparition, soit parce que le poisson la fuirait en raison de la pénurie de nourriture qu'il y trouverait, soit parce que la pâture qu'il y rencontrerait ne lui convient pas, auquel cas, il mourrait d'inanition ou tout au moins ne pourrait se procurer sa subsistance *en assez grande abondance* pour assurer d'une façon normale sa reproduction, sa croissance et sa prospérité.

« Des expériences de zooculture ont démontré à suffisance » ce fait, qui est tout à fait d'accord avec les lois économiques » de la vie animale, à savoir qu'un être atteint d'autant plus » rapidement sa maturité sexuelle et fournit une progéniture » d'autant plus abondante, que les conditions de nutrition » dans lesquelles il vit sont plus favorables. On peut dire » jusqu'à un certain point que les œufs ou les jeunes que pro- » duit un animal représentent un excédent, qu'il a accumulé » dans le cours de sa vie. La valeur de cet excédent est naturel- » lement proportionnelle, toutes conditions égales d'ailleurs, » à la quantité de nourriture ingérée par l'animal, de telle

» sorte que si cette dernière diminue, il en résulte aussi une
» diminution de la quantité des produits sexuels engendrés.
» Or, si nous tenons compte de ce fait que, dans le cas qui
» nous occupe, cette diminution s'exerce sur une série de
» générations, la perte totale devient alors le produit d'une
» progression géométrique et non pas celui d'une simple pro-
» gression arithmétique. En d'autres termes, d'année en année
» elle devient de plus en plus importante et, minime au début,
» cette diminution de la progéniture finira par devenir extra-
» ordinairement grande [1]. »

Les recherches expérimentales à entreprendre en vue de résoudre la question mise au concours doivent donc à la fois porter sur les poissons et sur la faune et la flore des cours d'eau, pour autant, bien entendu, que celles-ci servent à l'alimentation du poisson. On pourrait être enclin à laisser de côté ce dernier point, parce que nos poissons d'eau douce, à l'exception de certaines espèces carnivores, comme les salmonides, le brochet, le sandre et quelques autres poissons soi-disant voraces, sont omnivores, ainsi que le prouvent diverses observations. Ce fait est peut-être exact en ce qui concerne les animaux adultes, arrivés à maturité sexuelle. Cependant les insuccès obtenus dans les établissements de pisciculture dite artificielle, insuccès qui proviennent de la difficulté qu'il y a à fournir aux jeunes poissons une nourriture qui leur convienne, nous donnent beaucoup à réfléchir sur ce sujet.

De plus, l'expérience acquise par les pêcheurs à la ligne, qui sont obligés, pour assurer le succès de leur capture, d'employer une infinité d'amorces artificielles les plus diverses, appropriées à l'heure du jour, au moment de l'année et même au degré d'acuité de l'odorat du poisson, cette expérience, dis-je, tend à prouver que les poissons ne sont pas absolument disposés à ingérer *toute* espèce de nourriture, et qu'ils ne prennent pas, en toutes circonstances, avec le même plaisir un appât quelconque, fût-il même *nutritif* pour eux.

[1] R. LEUCKART, dans *Wagner's Handwörterbuch der Physiologie :* articles *Art* et *Zeugung,* Bd. IV, SS. 858 und 719.

De nombreuses observations m'ont convaincu que l'on doit, jusqu'à un certain point, considérer les poissons comme très gourmets[1]. Il est vrai que l'on réussit bien dans les établissements de pisciculture à *engraisser* les truites et même d'autres salmonides, en leur fournissant toujours régulièrement la même nourriture; on parvient ainsi à les habituer à se nourrir toujours des mêmes substances, et elles se développent parfaitement. Toutefois, on constate aussi fréquemment, dans ces établisssements, qu'il est au moins désirable que la nourriture soit parfois variée. De plus, il est indispensable, si l'on veut éviter la désoxygénation de l'eau, des maladies épidémiques ou d'autres causes de trouble dans le développement de ces poissons, d'enlever avec soin leurs matières fécales ainsi que les débris de nourriture qui n'ont pas été dévorés. D'autre part, nous avons affaire ici à des animaux pour ainsi dire domestiqués et non pas à des poissons sauvages, comme c'est le cas dans nos cours d'eau naturels. Il nous faut, par conséquent, renoncer à l'espoir d'obvier, en fournissant une pâture abondante à nos poissons, à la diminution des matières nutritives occasionnée par l'écoulement dans nos cours d'eau des produits résiduaires de l'industrie. Nous ne parviendrions d'ailleurs jamais à leur fournir une nourriture convenablement

[1] M. le Dr A. SCHILLINGER, de Münich, conseiller des pêcheries royales bavaroises et directeur de l'établissement de pisciculture de la Société des pêcheries fluviales bavaroises à Starnberg, m'a dit avoir cherché à élever simultanément, dans un même vivier, des alevins de sandres et de truites-perches.

Il donnait comme nourriture aux jeunes sandres des œufs de carpe. Or, en automne, quand il retira les poissons du vivier, il constata qu'il manquait un grand nombre de truites-perches, tandis que les petites carpes étaient encore très nombreuses. Parmi les sandres bien développés, dont la plupart étaient longs de 20 centimètres environ, douze exemplaires furent sacrifiés et l'on examina le contenu de leur estomac. Dans l'appareil digestif d'aucun de ces animaux on ne trouva de débris de carpes, mais, par contre, tous contenaient des débris de truites-perches. Les sandres avaient donc préféré les truites-perches aux carpes.

appropriée aux différents stades de leur développement. Seule la nature peut arriver à ce résultat; car les espèces qui vivent librement se sont adaptées progressivement, dans le cours des âges, aux conditions naturelles de leur nutrition, et ce n'est que de la sorte qu'elles ont pu prendre un développement très puissant.

Nos efforts doivent tendre à nous rapprocher le plus possible de cet état normal du développement de la vie, puisque les exigences et les complications de l'état social moderne ne permettent pas, j'en conviens volontiers, d'atteindre ce but d'une façon complète.

Maintenant que nous avons examiné dans quelle voie nous devons diriger nos recherches expérimentales destinées à déterminer la force de résistance qu'offrent les poissons comestibles à l'action nuisible des résidus de nos industries, abordons une question générale.

Quelles conditions doit réunir une eau propre à la vie et à la reproduction des poissons pour que nous la considérions comme normale? Entre quelles limites peut varier sa température?

L'eau indispensable à la vie du poisson n'est nullement l'eau répondant à la formule chimique H^2O, l'eau distillée des officines. Il n'existe nulle part, à la surface du sol, de l'eau chimiquement pure. D'ailleurs, en admettant qu'il en existât quelque part dans la nature, aucun poisson, aucun être organisé ne pourrait y vivre.

Dans l'eau qui sert d'élément vital à certains êtres organisés, l'eau des chimistes ne sert uniquement que de véhicule à l'oxygène, qui est indispensable à tous les animaux et végétaux, tant aériens qu'aquatiques.

Pour déterminer la qualité d'une eau, nous ne pouvons donc pas nous borner à chercher à découvrir les éléments toxiques que peuvent y amener les résidus des fabriques; mais nous devons avant tout rechercher si l'emploi de cette

eau par les fabriques n'a pas pour conséquence de lui enlever une certaine proportion de son oxygène.

Nous ferons connaître plus loin toute une série d'expériences qui démontrent que, dans certaines circonstances, le poisson périt uniquement parce que l'eau a perdu une partie de son oxygène, désoxygénation qui est la conséquence de véritables phénomènes d'oxydation, auxquels contribue habituellement l'activité vitale de micro-organismes.

D'autre part, grâce à l'oxygène qu'ils mettent en liberté en décomposant l'acide carbonique pour en assimiler le carbone, les végétaux chlorophylliens et notamment, dans notre cas spécial, les algues vertes, augmentent, par le jeu même de leur vie, la teneur en oxygène de l'eau dans laquelle vivent les poissons.

Pour qu'une eau de rivière soit de bonne qualité, elle doit avant tout, et nous insistons sur ce fait, *renfermer une proportion normale d'oxygène*.

Nous venons de dire que la désoxygénation de l'eau peut être la conséquence de phénomènes d'oxydation de diverses natures. C'est ce qui peut notamment se passer, en certaines circonstances, dans les cours d'eau.

Mais sont-ce là les seuls phénomènes qui puissent entraîner la désoxygénation de l'eau, si préjudiciable aux poissons?

On sait que l'on peut enlever d'un liquide un gaz qui s'y trouve dissous, en forçant un autre gaz ou bien un mélange gazeux à traverser le liquide en question.

Nous ne devons pas perdre de vue ce phénomène important, attendu que maintes opérations industrielles le produisent.

Le degré de solubilité dans l'eau des gaz, tout comme des corps liquides ou solides, augmente généralement, à peu d'exceptions près, avec l'abaissement de la température, tandis qu'il diminue lorsque la température augmente. Si donc il est aussi important que nous venons de le dire que l'eau conserve en solution une quantité normale d'oxygène, nous devons veiller à ce qu'il ne soit pas déversé dans nos rivières une trop grande quantité d'eau surchauffée. En effet, sans renfermer de

véritables substances toxiques, elle pourrait nuire considérablement aux poissons, en diminuant la quantité d'oxygène nécessaire à leur existence.

L'élévation de la température de l'eau dans laquelle vivent des poissons entraîne nécessairement, comme conséquence, une diminution de la quantité d'oxygène qu'elle renferme, proportionnelle à l'abaissement de la solubilité de ce gaz.

Nous savons que la température de nos cours d'eau naturels présente des différences remarquables entre l'hiver et l'été, entre le jour et la nuit. C'est ainsi que, dans les régions tempérées, la température des eaux stagnantes ou des cours d'eau peu rapides varie, de l'été à l'hiver, entre + 25° C et 0° C. On sait, en outre, que l'eau normale renferme, sous une pression moyenne : 28^{cc},8 d'air atmosphérique à 0° C ; 22^{cc},6 à 10° C. et 18^{cc},7 à 20° C. L'oxygène représentant environ le tiers de cette quantité d'air dissous dans l'eau, il en résulte que les variations annuelles normales de la température entraînent aussi des variations considérables dans la quantité d'oxygène que l'eau tient en solution. Et, en fait, les conditions sont plus défavorables encore, si nous considérons que l'activité de l'oxygène, c'est-à-dire son pouvoir de combinaison, augmente avec l'accroissement de la température. De plus, cette augmentation de la température (l'été) coïncide précisément avec l'apparition de la faune estivale qui, de son côté, consomme une certaine quantité d'oxygène.

A la vérité, à cette époque de l'année, la flore verte, sous l'influence de la lumière, produit une certaine quantité d'oxygène; mais les algues dépourvues de chlorophylle, comme le sont la plupart des bactéries, réduisent, de leur côté, cette augmentation. Dans les petits ruisseaux des montagnes, dont le courant est rapide et la température plus constante que celle des cours d'eau des plaines, nous ne trouvons presque exclusivement, comme poisson comestible, que la truite; tandis que dans les cours d'eau des plaines, nous voyons la truite, pendant la saison chaude, se réfugier dans les trous les plus profonds, c'est-à-dire les plus froids, en évitant avec soin l'eau surchauffée par le soleil.

Cette seule considération (et nous en indiquerons plus loin d'autres beaucoup plus précises et plus importantes) nous autoriserait déjà à conclure que nous devons, dans nos expériences, tenir compte, avec soin, de la température de l'eau, en raison de l'influence qu'elle exerce sur le degré de solubilité de l'oxygène dans ce liquide.

La truite paraît être un poisson caractéristique des ruisseaux sauvages. C'est que non seulement elle recherche les cours d'eau rapides et froids, mais, parmi eux, ceux qu'elle préfère sont ceux qui coulent en cascades naturelles par-dessus des obstacles de tout genre. Ce remous de l'eau doit avoir pour conséquence de l'aérer vivement et, par suite, d'augmenter la quantité d'oxygène qu'elle renferme. Quiconque a eu affaire à des truites vivantes, pisciculteur, marchand de poissons, ménagère ou pêcheur à la ligne, a certes eu l'occasion d'observer combien ces animaux sont sensibles à la moindre altération de l'eau. Ce qui prouve, entre autres, combien ce poisson a besoin d'oxygène, c'est ce fait, bien connu de tous les pêcheurs, qu'il suffit, pour affaiblir une grosse truite, bien vigoureuse, au point de l'enlever de l'eau sans rompre sa ligne, de la tirer pendant quelques instants *dans le sens* du courant. Pour que l'animal puisse respirer normalement, il est indispensable, en effet, qu'il se place *contre* le courant. Quand on le traîne *avec* le courant, il est bientôt épuisé et jusqu'à un certain point asphyxié.

Étant donné le grand besoin d'oxygène qu'éprouve la truite, il est certain qu'une élévation, même assez légère, de la température de l'eau, peut entraîner une diminution d'oxygène capable de nuire à cet animal, à moins toutefois que l'on n'aère directement l'eau. C'est ainsi que, par exemple, dans les grands aquariums dont la température peut aisément s'élever, mais où, par contre, la diminution de la quantité d'oxygène, déterminée par ce fait, est compensée par l'arrivée régulière d'un courant de bulles d'air extrêmement délicates, nous voyons la truite et d'autres poissons, avides comme elle d'oxygène, se plaire à circuler dans ce courant d'air.

Quand nous avons à rechercher si un cours d'eau est pollué, la première chose à faire est donc d'examiner si la proportion d'oxygène dissous dans l'eau est inférieure à la normale.

Maintenant que nous avons vu que pour qu'une eau soit propre à la vie et à la reproduction du poisson, elle ne doit pas *manquer* d'oxygène, nous aurons à rechercher si les autres éléments que nous rencontrons dans l'eau de rivière ou dans l'eau de source doivent être considérés comme nécessaires ou utiles à la vie du poisson.

Les eaux au milieu desquelles nous voyons vivre et prospérer le poisson diffèrent beaucoup les unes des autres dans la composition chimique, tant absolue que relative, de leurs substances sèches, c'est-à-dire dans la somme des éléments fixes qu'elles renferment.

Certaines d'entre elles, comme, par exemple, celles que nous voyons suinter au travers des roches anciennes, difficilement décomposables, ou bien celles qui coulent dans des vallées dont le lit est formé par des roches anciennes, sont extrêmement pauvres en matières minérales. Aussi pouvons-nous nous en servir à l'occasion comme eau distillée. D'autres, au contraire, en renferment beaucoup, et nous trouvons tous les degrés intermédiaires entre l'eau très douce des sources en terrains anciens et l'eau saumâtre ou l'eau de mer, c'est-à-dire l'eau salée naturelle.

Il est très peu d'eaux naturelles qui soient dépourvues de poissons, et parmi elles, il en est moins encore qui ne possèdent une faune et une flore. La plupart des eaux naturelles sont habitées par un grand nombre d'êtres animés.

Les géologues savent que certaines plantes leur servent d'indication sur la composition chimique du terrain et, jusqu'à un certain point, de la roche sous-jacente. Je me bornerai à rappeler la *Viola zinci* et les *Salsolacées*, plantes caractéristiques des terrains calaminaires et salés. Je pourrais en citer d'autres exemples.

Nous voyons les végétaux qui infestent les prairies naturelles dans les terrains bas et arides, tels notamment des Mousses,

des Juncacées, des Cypéracées et d'autres plantes qui, au point de vue de l'économie rurale, ont peu de valeur, faire place, après qu'on a répandu sur le sol une forte quantité de chaux ou de sulfate de chaux, et sans un nouveau semis, à une autre végétation, importante au point de vue agronomique. Ce fait est uniquement la conséquence du changement survenu dans les conditions chimiques de la nutrition de ces végétaux.

Nous possédons, sans aucun doute, une foule de preuves de ce fait, qu'à la suite d'une diminution absolue ou d'un déplacement relatif de matières nutritives, la flore renonce à la lutte pour l'existence, succombe à une modification des circonstances au milieu desquelles elle prospérait. Les exemples que nous avons cités plus haut le prouvent suffisamment. Cependant, un très grand nombre de ces transformations, qui peuvent être constatées même par le profane, n'ont pas encore reçu d'explication satisfaisante.

Ces changements subis par la flore doivent entraîner des modifications dans la faune; car cette dernière est inséparable de la première et s'y est adaptée.

Toute vie animale ne dépend-elle pas, en dernière analyse, de la nourriture végétale?

Si l'on entreprenait des recherches minutieuses à ce sujet, il n'y a pas de doute que l'on reconnaîtrait que l'existence d'un grand nombre d'espèces et d'individus organisés, qui vivent dans un cours d'eau, dépend de la quantité absolue et relative des matières nutritives que ce milieu renferme. Pas de doute non plus que l'on reconnaîtrait que des déplacements de ces substances nutritives entraînent des modifications dans la nature et le nombre des individus habitant ce cours d'eau.

Si cette étude était bien complète, elle devrait tenir compte des différences qui existent entre les diverses eaux *naturelles*, en ce qui regarde leur contenu en matières nutritives, différences qui *semblent* n'avoir aucune influence sur la *vie* des poissons. Nous obtiendrions de la sorte des données incontestables, qui nous démontreraient pourquoi nous rencontrons tels poissons dans un cours d'eau et tels autres dans un autre. Si l'on com-

pare la faune ichthyologique des eaux salées, de l'eau saumâtre et de l'eau de mer, avec celle des eaux douces, on constate la localisation très nette, très manifeste, d'un grand nombre d'espèces et de genres, tandis que d'autres jouissent d'un pouvoir d'adaptation extrêmement étendu.

Toute modification apportée à la nature d'un cours d'eau par la vie de l'homme, dans le sens le plus large du mot, doit entraîner un certain nombre de conséquences. Si l'adaptation naturelle des êtres vivants ne nous permet pas de constater la plupart d'entre elles, nous en connaissons cependant quelques-unes, notamment la présence du *Lyngbia ochracea* dans les eaux ferrugineuses, celle du *Beggiota* dans les eaux sulfureuses, celle des algues filamenteuses blanches et des champignons filamenteux blancs dans les eaux qui contiennent de l'acide carbonique. Et l'avenir nous en réserve, certes, maintes autres encore.

Très diverses peuvent être les influences exercées sur les cours d'eau par l'activité humaine. Mais ce n'est que quand elles se manifestent de la façon la plus grossière que nous disons que les eaux sont polluées.

Nous devons examiner séparément l'action exercée sur les eaux par les substances insolubles et par les substances solubles, en tenant compte, en outre, de leur nature inorganique ou organique, ainsi que de leur état d'agrégation.

Il est très rare qu'une eau de rivière naturelle soit *entièrement* dépourvue de matières en suspension, bien que nous ayons souvent besoin d'employer des moyens spéciaux (de longs tubes de verre appliqués sur un fond blanc) pour constater la présence de ces matières souvent très ténues. La pluie a pour conséquence de troubler, d'une façon plus ou moins prononcée, les cours d'eau. Des algues et des champignons peuvent aussi, dans certaines circonstances, se multiplier si rapidement, que leur présence dans une eau stagnante ou à courant très lent, trouble la transparence de l'eau. Dans l'un comme dans l'autre cas, les matières en suspension dans l'eau peuvent causer directement un préjudice au poisson. C'est

ainsi que l'on a souvent trouvé, à la suite de fortes pluies, du frai de poisson fécondé, entièrement envasé par suite du dépôt au fond de l'eau de substances insolubles. Les œufs du saumon (frai d'hiver), par exemple, s'ils sont trop envasés, ou bien ne parviennent pas à leur complet développement par suite du manque d'oxygène, ou bien se développent, mais alors les embryons, après avoir traversé la membrane de l'œuf, ne parviennent pas à se dégager du mucus qui enveloppe l'œuf et meurent rapidement.

D'un autre côté, les matières en suspension dans l'eau peuvent aussi nuire aux poissons adultes. Pendant le passage de l'eau à travers l'appareil respiratoire, ces particules restent fixées sur les branchies, ce qui empêche l'opercule de se fermer complètement.

Il en résulte que la respiration ne peut plus s'accomplir normalement, et l'animal finit par mourir[1]. Si des algues et des champignons se trouvent suspendus en abondance dans l'eau, ils peuvent déterminer les mêmes lésions, surtout sur des animaux petits et faibles. Dans l'un comme dans l'autre cas, on trouve ces corps étrangers sur les branchies du poisson mort. J'ai pu observer ce fait, à diverses reprises, pendant l'été, dans l'eau saumâtre du delta d'un grand fleuve (golfe de Stettin). Des milliers de poissons morts se trouvaient au milieu d'algues vertes. Leurs branchies, colorées en rose pâle, étaient couvertes de véritables amas d'algues, et les opercules n'étaient pas fermées. Il arrive donc que des substances tenues en suspension dans l'eau peuvent, même dans des circonstances naturelles, nuire à l'existence des poissons.

Pour ne tenir aucun compte de ces faits, il faudrait qu'il fût prouvé par des recherches expérimentales que les substances en suspension dans l'eau ne peuvent généralement exercer d'influence nuisible sur le poisson.

Mais il n'en est pas de même si l'on cherche à savoir quelle

[1] R. Leuckart, *Ein Gutachten über die Verunreinigung von Fisch, etc., Wässern.* Cassel, 1886, F. Scheel.

action nuisible peuvent exercer des substances solubles. Nous voyons bien certains poissons d'eau douce éviter les endroits où des eaux naturelles assez salées se déversent dans de petits cours d'eau. Cependant, il faut bien se garder d'en tirer la conclusion que ces eaux sont nuisibles aux poissons d'eau douce, attendu que nous pouvons voir un certain nombre de ces poissons prospérer facilement dans l'eau saumâtre et même dans l'eau de mer. Nous pourrions songer à attribuer ce fait à une adaptation progressive; mais il faudrait pour cela que des expériences directes nous eussent démontré le bien-fondé de cette hypothèse.

Les eaux naturelles, fortement ferrugineuses, ne contiennent pas de poisson. On ne peut décider *a priori* si cette carence est due au fer dissous, attendu que, dans ces eaux, au contact de l'air, il se précipite de l'oxyde ferrique insoluble. On pourrait donc ramener la nocuité de ces eaux uniquement à l'action des substances qui s'y trouvent en suspension.

De même, les eaux dans lesquelles se déversent des sources naturelles d'acide carbonique ne renferment pas de poisson.

Il ne nous paraît pas douteux que l'acide carbonique agit directement sur le poisson; toutefois il serait aussi logique d'admettre qu'il n'agit qu'indirectement, en déterminant le déplacement d'une partie de l'oxygène en solution. En effet, il est certain que pendant son passage à travers l'eau, l'acide carbonique entraîne de l'oxygène, d'où résulte nécessairement une désoxygénation de l'eau [1].

[1] Dans le compte rendu, qu'il a publié, d'une excursion zoologique aux lacs de l'Eifel (*Biologisches Centralblatt*, 1889, Bd. IX, n° 2-4), le Dr O. ZACHARIAS dit, en ce qui concerne le lac de Laacher, que l'acide carbonique, qui s'élève constamment, sous forme de bulles, du fond de ce bassin, influe, sans aucun doute, sur la nourriture de certains animaux aquatiques de petite taille (Hydrachnides, Copépodes, etc.). Il n'est cependant pas démontré que cette circonstance exerce aussi une influence sur l'existence du poisson. En effet, ce lac passe plutôt pour être très poissonneux. La perche et le brochet y atteignent même une taille considérable.

Est-ce la cause pour laquelle les poissons évitent généralement les eaux chargées d'acide carbonique, ou bien ce gaz exerce-t-il directement sur eux une action délétère? C'est une question que nous ne pouvons trancher pour le moment.

Nous rencontrons aussi, comme éléments naturels, dans certaines eaux, du gaz des marais et du sulfide hydrique. Or, je n'ai vu mentionné nulle part que l'on eût constaté dans ces eaux une absence complète de poissons.

J'aurais encore à signaler ici d'autres conséquences de la civilisation moderne : je veux parler des conséquences résultant des travaux effectués en vue de rectifier le cours des rivières, ainsi que de la circulation des bateaux à vapeur.

Les travaux de rectification des cours d'eau tendent à rendre le rivage plus stable, plus fixe : par là, ou bien des places convenant très bien pour le frai sont remblayées, ou bien le poisson ne peut y avoir accès, ce qui diminue la quantité des poissons que l'on y rencontre.

Quant aux bateaux à vapeur, par les mouvements énergiques qu'ils impriment à l'eau, ils jettent sur le rivage des embryons de poissons, qui s'y détruisent par dessiccation, ou bien ils lancent le frai dans des amas de vase. La navigation à vapeur peut donc aussi être préjudiciable à l'existence du poisson. Il convient donc que nous tenions compte de ces influences possibles, si nous ne voulons pas, à tort, imputer à d'autres causes le dépeuplement de certains cours d'eau.

Je crois avoir mentionné, dans les réflexions qui précèdent, toutes les circonstances essentielles qu'il convient de prendre en considération pour se faire un jugement sur les causes diverses qui peuvent nuire aux poissons de nos cours d'eau.

Dans un autre chapitre de cet ouvrage, je m'occuperai spécialement des éléments constitutifs des eaux naturelles ; je signalerai aussi, en les énumérant selon leur nature et leurs proportions, les éléments que contiennent les eaux résiduaires de notre industrie et les cours d'eau pollués par elles.

Pour le moment, je ne pouvais que donner un aperçu superficiel des questions qui se rattachent à ce sujet.

Mais, afin de prévenir, autant que possible, de graves malentendus, il était indispensable que je les signale avant d'exposer les résultats des recherches expérimentales auxquelles je me suis livré pour déterminer l'action exercée par les diverses substances que peuvent déverser dans les cours d'eau les résidus de l'activité industrielle.

La question mise au concours exige des expériences directes pour déterminer l'action nuisible qu'exercent ces substances sur le poisson.

Avant d'entreprendre ces recherches, il convenait tout d'abord d'adopter une mesure pouvant servir à déterminer l'intensité de l'action des diverses substances toxiques.

Le moyen le plus simple semble être de placer le poisson dans une solution de la substance à expérimenter et de noter ensuite la durée du temps qui s'écoule depuis ce moment jusqu'à la mort de l'animal.

Mais il se pose immédiatement une question préalable. Des poissons de même espèce et de même taille se montrent-ils au même degré sensibles à l'action de la même substance nuisible, ou bien existe-t-il à ce sujet de grandes différences individuelles? De nombreuses expériences, que nous relaterons plus loin, ont démontré qu'en fait les poissons de même espèce et de même taille (je fais provisoirement abstraction des embryons ainsi que des alevins qui viennent d'absorber le contenu de leur sac vitellin) montrent le même pouvoir de résistance vis-à-vis des substances chimiques solubles, lorsque la température de l'eau est la même. Déjà Grandeau[1] était arrivé à ce résultat par ses expériences sur l'intoxication des poissons, expériences qu'il fit avec des tanches. Cet auteur prenait pour mesure du pouvoir de résistance de la tanche l'espace de temps qui s'écoulait depuis le commencement de l'expérience jusqu'à la mort de l'animal.

Grandeau attirait aussi l'attention sur ce fait, que la mort est

[1] GRANDEAU, *La soudière de Dieuze, etc.* Paris, Librairie agricole de la maison rustique, 1872.

précédée d'une période « d'asphyxie », d'insensibilité aux influences extérieures. Il constata que cet état pouvait n'avoir pas de conséquences fâcheuses définitives pour le poisson, si, dès qu'il commençait à se manifester, on soustrayait l'animal à l'influence délétère à laquelle il venait d'être soumis, en le replaçant dans de l'eau pure.

Je ne puis que confirmer pleinement cette observation.

Aussitôt que la substance employée commence à exercer son action, le poisson manifeste son malaise par une très grande agitation, par des ébats violents; en même temps il s'efforce de se soustaire, par des bonds considérables, au milieu intoxiqué dans lequel il se trouve. Le nombre des mouvements respiratoires augmente visiblement; l'animal fait mouvoir violemment ses opercules, écarquille démesurément la bouche en même temps que ses branchies. A ce moment il se trouve dans une période d'extrême angoisse et d'excitation, qui s'exprime souvent notamment par ce fait qu'il expulse des matières fécales et qu'il vomit le contenu de son estomac [1]. Pendant toute la durée de cette période, il est cependant encore sensible aux influences extérieures.

Un peu plus tard, il cherche à s'enfuir et oppose encore de la résistance quand on veut s'en emparer. Cependant, à ce moment, il est réellement malade; mais il possède encore, si

[1] Les pêcheurs à la ligne savent parfaitement que le poisson cherche à vomir sous l'influence de l'anxiété qu'il ressent lorsqu'il se voit capturé. Après avoir avalé l'amorce, effrayé sans doute de voir le lien qui la rattache à la ligne et qui flotte au-dessus de lui, il fait des efforts pour la cracher. Si l'hameçon ne reste pas accroché dans la bouche du poisson, le pêcheur est trompé dans son attente. On ne peut cependant supposer que l'animal ait conscience de sa capture, et que ce soit pour ce motif, comme je l'ai entendu soutenir par des pêcheurs, qu'il cherche, à la suite d'un véritable raisonnement, à se soustraire à la cause de sa captivité. Le fait que j'ai constaté souvent dans mes nombreuses expériences, à savoir qu'au début de la période d'angoisse l'animal vomit le contenu de son estomac, fait qui est corroboré par l'observation relatée par les pêcheurs à la ligne, démontre qu'il ne s'agit pas là, de la part du poisson, d'un acte de raisonnement.

l'on ose se servir de cette expression, la conscience de son activité vitale.

Bientôt commence alors une période de prostration, qui est immédiatement précédée de ce symptôme que l'animal se couche sur le flanc. Il cesse d'exécuter les mouvements de natation et tombe sur le côté.

Dans cette position, il descend jusqu'au fond de l'eau; puis il exécute quelques soubresauts désordonnés, dont il semble rester inconscient; enfin, il ne fait plus le moindre mouvement si l'on approche la main ou bien si on le touche; c'est à peine s'il oppose encore une faible résistance à la pression. Ce jeu se répète plusieurs fois; puis il se couche définitivement sur le flanc. L'animal reste alors au fond de l'eau; ses mouvements respiratoires deviennent pénibles et violents; mais il n'a plus la force d'accomplir des mouvements de natation.

Il est devenu complètement insensible même aux attouchements violents et aux coups qu'on lui porte. Ses mouvements respiratoires, accomplis comme nous venons de le dire, sont les seuls signes sensibles de la persistance de la vie. Je pourrais désigner cet état sous le nom de défaillance, de perte de connaissance, ou mieux encore sous le nom d'agonie plus ou moins lente.

J'ai choisi, pour mesurer l'intensité de l'action des diverses substances expérimentées, le temps qui s'écoule depuis l'introduction du poisson dans le liquide, jusqu'au moment où l'animal se place définitivement sur le flanc. Une série d'expériences m'ont démontré que cette manifestation doit être, à juste titre, considérée comme le symptôme le plus infaillible du début de l'agonie. Si, dès que l'animal commence à prendre cette position, on ne le dépose pas aussitôt dans de l'eau fraîche, alors il succombe plus ou moins rapidement. Même lorsqu'il n'est couché sur le flanc que depuis cinq minutes lorsqu'on le place dans l'eau fraîche, il arrive, dans beaucoup de cas, qu'il succombe.

Après qu'il a manifesté ce symptôme, si on ne le replace pas dans des conditions normales, il meurt infailliblement.

Toutefois, le temps qui s'écoule alors jusqu'au moment de la mort varie avec les différentes substances toxiques que l'on emploie.

Lorsque le poisson ne parvient plus à reprendre sa position normale dans l'eau, il est en même temps dans l'impossibilité de se mouvoir. En réalité cependant, il exécute encore de temps en temps un bond convulsif, généralement de bas en haut; mais aussitôt après il retombe, épuisé, au fond de l'eau.

Le fait qu'en perdant la faculté de se remettre dans sa position normale, l'animal perd en même temps la liberté de ses mouvements, est une circonstance qui permet de le considérer, à partir de ce moment, pour ainsi dire comme mort. En effet, bien qu'il lui reste encore un souffle de vie, il est cependant incapable de se soustraire volontairement, par la fuite, à l'action de la substance toxique. Il perd, en outre, la faculté de se placer contre le courant, condition qui, comme nous l'avons déjà dit, est indispensable chez les poissons qui nous ont servi à faire cette expérience (truites), pour que l'eau chargée d'oxygène puisse traverser l'appareil branchial de façon à permettre à l'animal de respirer normalement.

Il est donc légitime d'adopter, pour mesurer le pouvoir de résistance du poisson aux substances expérimentées, le moment exact où il se place définitivement sur le flanc. Nous désignerons, dans nos expériences, sous le nom de *durée de résistance,* le temps qui s'écoule entre ce moment et l'introduction du poisson dans le liquide. Toutefois, il ne peut en être ainsi en ce qui concerne les poissons de toute petite taille ou les alevins encore pourvus de leur sac vitellin, attendu que pour eux il n'est pas toujours possible d'observer avec certitude quand ils prennent cette position sur le côté : dans certains cas même, ils ne se couchent pas sur le flanc, mais restent, au contraire, dans la position normale.

Voici comment les expériences ont été faites. Le poisson soumis à l'observation est placé dans une solution titrée de la substance à expérimenter. On note exactement, montre en

main, sa durée de résistance. Dès que la limite de résistance est atteinte, l'animal est aussitôt reporté dans de l'eau normale. Dans certaines expériences pourtant il a été, à dessein, dérogé à cette règle.

En agissant de la sorte, il est arrivé, dans un grand nombre de cas, que le patient soumis à l'expérience se ranimait et revenait à la vie, et cela généralement après un laps de temps très court, sans avoir éprouvé de préjudice appréciable.

De plus, en calculant, par le procédé que je viens d'indiquer, la durée de résistance de l'animal, il en résulte un avantage essentiel : c'est que l'on diminue notablement la durée de l'expérience, ce qui rend les résultats des observations isolées plus rigoureux. J'ai vu, par exemple, dans certains cas, mes poissons en expérience rester au sein du liquide intoxiqué, couchés sur le flanc, dans une immobilité complète, pendant vingt heures et même davantage, avant de mourir Or, il est certain que surveiller une expérience pendant un temps aussi long devient extrêmement pénible pour l'observateur. En même temps, il est beaucoup plus difficile de maintenir aussi longtemps l'eau à une température toujours égale. De plus, vouloir conserver aussi longtemps au même degré de concentration certaines solutions comme, par exemple, de faibles solutions de chlorure de chaux ou d'anhydride sulfureux, serait s'exposer à voir se produire des transformations chimiques, sous l'influence de l'air et de la lumière Enfin, avec certains poissons très délicats, comme la truite, par exemple, on n'oserait risquer des expériences d'aussi longue durée, car ce poisson ne peut séjourner pendant plus de deux heures dans une eau pure, mais stagnante, sans manifester des symptômes morbides. Il en résulte que l'on risquerait d'attribuer à la substance expérimentée des effets qui ne seraient pas son œuvre exclusive. Bref, en ce qui concerne la truite, plus longue sera la durée de l'expérience, plus grand aussi sera le risque de voir des sources d'erreur en troubler le résultat. La mesure la meilleure que nous puissions adopter pour déterminer la durée de résistance du poisson aux agents toxiques

est donc celle qui comporte la durée la plus courte de l'expérience.

Plus est concentrée la solution d'une substance toxique, plus est courte la durée de résistance du poisson; en outre, il succombe d'autant plus vite à son influence qu'il est de taille plus minime.

Si nous déduisons toutes les conséquences de ce fait qui, comme nous le verrons plus loin, repose en tous ses points sur les résultats d'un grand nombre d'expériences, alors nous arrivons à cette conclusion, que ces expériences n'ont une valeur, une signification réelle que pour autant qu'elles ne soient pas prolongées au delà d'une certaine limite. Celle-ci dépassée, la méthode ne peut plus nous fournir de données exactes.

Nous verrons que les poissons résistent beaucoup plus longtemps aux influences nuisibles qu'exercent sur eux certains résidus de l'industrie, à de basses températures qu'à des températures élevées [1]. Si donc nous constatons qu'une truite, par exemple, peut supporter, sans préjudice apparent, pendant deux heures, à la température moyenne de l'eau, l'influence d'une solution déterminée d'une substance toxique, il est inutile que nous entreprenions, avec la même solution, des expériences à une température plus basse. C'est qu'en effet la durée de ces expériences devrait dépasser la limite au delà de laquelle, d'après ce que nous avons dit plus haut, nous ne pouvons plus compter sur un résultat significatif.

De plus, si une truite de taille moyenne résiste deux heures, il est inutile d'entreprendre, dans les mêmes conditions, des expériences avec un animal de plus forte taille, attendu que, pour une même espèce, la durée de résistance augmente avec la taille du poisson. Enfin, si une truite supporte pendant deux heures l'action d'une solution déterminée, il serait oiseux d'expérimenter, sur un poisson de même taille, à la même tempé-

[1] Je n'ai naturellement en vue que les limites de température, entre lesquelles varient dans la nature les eaux propres à la vie et à la reproduction du poisson.

rature, à l'aide d'une solution moins concentrée de la même substance.

Nous aurions alors atteint, pour l'espèce de poisson dont il est question, en ce qui concerne les trois circonstances qui peuvent influer sur sa durée de résistance, la limite au delà de laquelle, dans notre méthode d'expérimentation, les résultats ne peuvent plus être de quelque utilité pour nous.

Si nous plaçons dans une solution déterminée d'une substance des individus de même espèce, mais de tailles les plus diverses, depuis l'œuf jusqu'à l'adulte, nous constatons, comme nous l'avons déjà dit, que leur pouvoir de résistance augmente avec leur taille. Toutefois, en raison des conditions de l'expérience, il ne varie qu'entre des limites relativement peu considérables. Il en est de même pour les variations dépendant de la température. Mais si nous pouvons au besoin passer sur ces deux défauts, qui sont des conséquences de notre méthode d'expérimentation, il nous est impossible de ne pas signaler cet autre défaut qu'elle présente, de ne pas nous permettre d'apprécier l'influence qu'exerce sur le poisson l'action prolongée de solutions très faibles des substances expérimentées. Nous ne pouvons, en effet, dans ce cas, faire durer assez longtemps nos expériences [1].

Certaines fabriques déversent par moments dans les cours d'eau publics des solutions de chlorure de chaux renfermant 1 °/₀₀ de chlore libre. J'ai eu maintes fois l'occasion de

[1] Nos expériences ont été faites dans de l'eau dormante, c'est-à-dire pour les truites, par exemple, dans des conditions qui ne sont pas naturelles, ce poisson vivant habituellement dans l'eau courante. Le mouvement de l'eau favorise son oxygénation parce qu'une eau agitée offre à l'air une plus grande surface d'absorption.

M. le Profr Dr Bruno Hofer, de Münich, a récemment modifié ma méthode d'expérimentation, en ce sens que dans ses expériences, il veillait à ce que l'air fût constamment renouvelé : pour cela, il faisait traverser l'eau par un courant de petites bulles d'air. Dans ces conditions, la durée de résistance, comparée à celle fournie par mes expériences, était augmentée d'environ deux heures pour les truites. Les poissons se

l'observer. L'expérience démontre qu'à la température ordinaire, dans une eau ainsi souillée, la truite meurt presque instantanément. Le temps qui s'écoule depuis le moment où on l'y dépose jusqu'à sa mort est tellement court, qu'il n'est même plus possible d'apprécier la durée de la période qui précède la mort et pendant laquelle l'animal reste couché sur le flanc. D'après mes observations, la quantité la plus minime de chlore libre qu'il soit possible d'apprécier dans l'eau [1] est de 0gr,0002 par litre. Dans une eau chargée de cette proportion de chlore, une petite truite, pesant 5 grammes, peut vivre pendant deux heures et demie, à la température de 14° C. Au voisinage de 0° C, la durée de résistance serait donc plus considérable encore. Sept truites de toute petite taille, écloses depuis quatre semaines et dont le sac vitellin était résorbé depuis quelques jours, furent soumises, dans les mêmes conditions de température et de concentration, pendant une heure, à l'action de ce liquide intoxiqué; puis elles furent placées dans de l'eau courante, fraîche : 13 heures après, toutes étaient mortes. D'un autre côté, six truites du même âge, qui avaient séjourné dans le même liquide pendant 15 minutes, puis avaient été placées dans de l'eau courante, fraîche, survécurent sans en avoir souffert, c'est-à-dire que plusieurs jours après elles se portaient très bien, dans l'eau courante.

Or, la petite truite de 5 grammes, dont nous parlions tout à l'heure, si elle avait été soumise pendant plusieurs jours,

maintenaient donc normalement beaucoup plus longtemps. S'il est vrai que, dans ces circonstances, ils ne peuvent s'affaiblir par manque d'oxygène, par contre, la privation de nourriture est de plus longue durée.

En outre, M. le Profr Joh. Frenzel a démontré que les poissons qui, par ce procédé, reçoivent de l'air en excès, non seulement peuvent résister à des températures que, sans cela, ils ne supporteraient pas, mais aussi qu'en raison de l'aération plus abondante de l'eau, ils deviennent moins sensibles aux influences extérieures, notamment à l'action des sels nuisibles.

[1] A l'aide de l'iodure de potassium.

même à une température très basse, à l'action de cette solution dont le degré de concentration est pourtant si minime que c'est à peine s'il peut avec certitude s'exprimer en chiffres, aurait-elle résisté?

Nous ne le savons pas et nous ne pourrions le déterminer à l'aide de notre méthode d'expérimentation; car nous n'oserions, si nous voulons être sûr de notre résultat, laisser séjourner des truites pendant beaucoup plus de deux heures dans une eau non courante [1].

Comme des truites aussi jeunes et aussi petites que possible (je fais abstraction des embryons, des œufs et des spermatozoïdes) ont pu succomber après un séjour d'une heure dans la solution de chlorure de chaux, dont nous venons de parler et dont le degré de concentration représente la valeur minimum à laquelle il soit possible de déceler chimiquement la présence du chlore, il en résulte que nous ne pouvons considérer cette solution comme n'exerçant aucun préjudice à *Trutta fario*. Or, bien qu'elles échappent à *notre* observation, nous pouvons cependant imaginer et même produire, par dilution, des solutions de chlorure de chaux moins concentrées encore. Certes, même à une basse température, sous l'influence de l'air et de la lumière, dans les conditions que présentent les cours d'eau naturels, de pareilles solutions se dépouilleraient, par transformation chimique, de leur contenu en chlore libre et par conséquent les eaux intoxiquées s'assainiraient complètement. Toutefois, il est possible qu'à la suite d'un écoulement continu de lessives intoxiquées, nous rencontrions constamment, dans une région du cours d'eau, en aval de l'établissement industriel en question, une solution de chlore à 0,0001 °/o Supposons même qu'en raison des difficultés que rencontrent les combinaisons chimiques pour s'accomplir, cette solution soit en réalité diluée à ce degré de concentration minimum, que nous indiquions précédemment et que les petites truites peuvent supporter, sans en souffrir,

[1] Voir la note au bas de la page 29.

pendant deux heures. Il est certain que l'inocuité de ce milieu ne serait encore nullement prouvée, attendu que la nature ne connaît pas cette limitation de la durée d'action, que nous impose notre méthode d'expérimentation.

Mais peut-être pourrions-nous, même pour la truite, augmenter la durée des expériences : il nous suffirait de ne plus opérer dans une solution stagnante, d'établir un courant constant d'eau intoxiquée, fraîchement préparée [1]. Si nous parvenions même de la sorte à faire durer l'expérience, ne fût-ce que douze heures, nous nous trouverions alors dans la nécessité de fournir à nos petits poissons leur pâture naturelle. Sinon, nous risquerions d'attribuer leur mort à une intoxication, alors qu'en réalité elle serait due à l'abstinence ou à d'autres circonstances.

Quelle que soit la manière dont nous organisions nos expériences, nous ne pouvons réaliser toutes les conditions qui se rencontrent dans la nature. Nous ne pouvons, en réalité, dans nos recherches de laboratoire, arriver qu'à des résultats qui ne s'y trouvent réalisés qu'exceptionnellement.

Nous avons dit précédemment que, dans l'intérêt de la rigueur même des résultats de nos expériences, nous devions nous efforcer d'arriver à obtenir la durée de résistance la plus minime possible, exprimée tout au moins en minutes. Or, une courte durée de résistance indique un pouvoir toxique énergique, un degré de concentration relativement élevé, une action délétère aiguë du milieu dans lequel est placé l'animal, Et pourtant ces circonstances ne se produisent que rarement dans la nature. Le plus souvent le poisson ne s'y trouve soumis qu'à l'action lente et prolongée de solutions toxiques relativement peu concentrées.

Si, pour nos expériences, nous choisissons, au lieu de la truite, qui est extrêmement sensible et délicate, la tanche, qui est particulièrement résistante, nous constatons, bien que nous puissions avec cet animal faire durer nos expériences

[1] Voir la note au bas de la page 29.

pendant douze heures et même davantage sans risquer d'obtenir des résultats erronés, que, même en employant des solutions relativement concentrées, les individus de taille moyenne appartenant à cette espèce ne sont, en apparence, pas le moins du monde influencés par les substances toxiques. Il n'est pas admissible cependant qu'il en soit réellement ainsi; mais il nous est impossible de démontrer, par des expériences directes, que ces substances exercent une influence nuisible sur ce poisson.

Nous ne pouvons donc pas considérer les résultats obtenus à l'aide de la truite comme nous fournissant le degré exact de nocuité qu'une eau intoxiquée présente pour les différentes espèces de poissons qui y vivent. Agir de la sorte serait commettre une injustice manifeste envers l'industrie. Nos expériences ne nous fournissent de données précises qu'en ce qui concerne l'intoxication aiguë et nullement sur l'intoxication chronique.

La méthode d'expérimentation que j'ai adoptée est une modification de celle employée par Grandeau. Celle dont se sont servis P. Bert [1], E. Reichart [2], C. Nienhaus [3] et A. Herzfeld [4] était aussi essentiellement la même.

Ch. Richet [5], dont nous ne pouvons d'ailleurs, pour ce qui nous concerne, prendre les expériences en considération, attendu qu'il opérait dans l'eau de mer avec des poissons de la Méditerranée, a adopté une autre mesure, en ce sens qu'il considère comme *limite de toxicité* la dose maximum *du métal*, exprimée en grammes par litre, qui, ajoutée, sous forme de

[1] *Comptes rendus,* 1871.

[2] *Archiv der Pharmacie,* SS. 219, 43.

[3] *Bericht über die Verunreinigung des Rheines durch Abfallstoffe der Fabriken.* Basel, 1883.

[4] *Die Ergebnisse der in der Campagne 1884-1885 angestellten amtlichen Versuche über die Wirksamkeit verschiedener Reinigungsverfahren, etc.,* imprimé à l'occasion du *Kgl. Oberpräsidiums der Provinz Sachsen,* par E. Bansch jun. Magdeburg, 1886.

[5] *Comptes rendus,* 1881, 93, p. 649.

chlorure, à l'eau de mer, était supportée par les poissons en expérience pendant plus de quarante-huit heures, sans qu'ils éprouvassent de préjudice sérieux.

Toutefois la différence que présente cette méthode avec celle de Grandeau est plutôt apparente que réelle, attendu que Richet tient également compte de la notion *de temps*. Étant donné que les animaux sur lesquels il expérimentait étaient plus résistants, leur durée de résistance devait nécessairement être plus longue.

C. Nienhaus a cherché à déterminer le degré de nocuité des eaux résiduaires des fabriques de Bâle, en procédant de la manière suivante. Il plaçait des poissons bien portants dans des réservoirs flottants, qu'il amarrait dans le Rhin, à une distance plus ou moins grande du lieu où ces eaux intoxiquées se déversent dans le fleuve. Ses animaux en observation étaient donc soumis directement à leur action.

H. S. von Ditten[1], de Christiania, recommande aussi une méthode semblable pour étudier l'influence qu'exercent sur le poisson les résidus de l'industrie.

Certes, cette méthode permet de prolonger beaucoup la durée des expériences; mais, d'un autre côté, elle offre des défauts importants, qui rendent ses avantages plus qu'illusoires.

Et tout d'abord, elle ne permet d'employer que des eaux de fabriques comme telles. Or, ces résidus sont généralement d'une composition chimique très complexe, et il n'est souvent pas facile de déterminer avec certitude par l'analyse quelle est la substance à laquelle il faut principalement attribuer les symptômes d'intoxication éventuels. Il est rare de rencontrer des eaux résiduaires dont la nocuité puisse être attribuée uniquement et exclusivement *à une seule substance*. En outre, en ce qui concerne les expériences spéciales qui nous inté-

[1] Je n'ai pu me procurer le texte original de ce mémoire. Je dois les renseignements qui précèdent à une communication écrite que l'auteur a eu l'obligeance de m'adresser en m'autorisant à l'utiliser.

ressent en ce moment, cette méthode présente encore maints autres inconvénients, notamment la difficulté de déterminer le degré de concentration des solutions, de surveiller l'expérience, etc.

De plus, cette méthode peut même exposer les animaux en expérience à des dangers sérieux. Rud. Leuckart affirme, en effet, à juste titre, d'après les *Mittheilungen* de von Siebold [1], que les substances en suspension dans l'eau, à la suite de pluies d'orage, déterminent fréquemment des lésions externes chez les poissons placés de la sorte dans des réservoirs. Ils doivent laisser le courant passer au-dessus d'eux, ne peuvent s'abriter, et souvent ils reçoivent aux yeux des blessures qui peuvent entraîner des ulcères de ces organes et même la perte complète de la vue [2].

Cette circonstance suffit déjà à me rendre peu sympathique cette méthode; car il est évident que le poisson qui est atteint de lésions externes, même minimes, devient beaucoup plus sensible et par conséquent plus débile. Il faut, en outre, tenir compte de l'influence que doit exercer la fatigue résultant du séjour prolongé dans un courant rapide.

Pénétré de l'importance que présente l'étude de l'intoxication chronique pour la solution de la question qui nous occupe, je n'ai pas craint, malgré les difficultés que devaient entraîner les longues expériences qu'elle nécessitait, de tenter de les exécuter.

Dans de grandes auges de pierre où je tenais mes poissons, je faisais arriver, en même temps qu'un courant constant d'eau pure, des solutions de substances toxiques qui, à l'aide d'un mécanisme simple, se mêlaient à l'eau pure au moment où elles s'y déversaient. L'endroit où se faisait le mélange était inaccessible aux animaux. Dans les solutions homogènes,

[1] *Ein Gutachten über die Verunreinigung von Fisch, etc.* Cassel, 1886, Fr. Scheel.

[2] Von Siebold a observé fréquemment ce fait au voisinage de Würzbourg. D'après Leuckart, en Westphalie, le même phénomène se produirait sous l'influence des eaux de lavage de certains minerais.

extrêmement peu concentrées, d'acide sulfurique, d'acide chlorhydrique, de carbonate sodique et de quelques autres substances, les animaux, nourris normalement, pouvaient rester pendant plusieurs semaines.

Et cependant ces expériences ne furent nullement probantes. En effet, dans des auges de contrôle, que je m'efforçais de tenir dans des conditions aussi identiques que possible à celles qui se trouvaient réalisées dans les auges d'expériences, à cette seule différence près que je n'y faisais arriver que de l'eau courante pure, sans la moindre trace de matière toxique, je constatai parfois des cas de mort. Or ce n'était, à coup sûr, pas le poison qui pouvait les avoir occasionnés. Dès lors, les poissons qui mouraient dans les auges à expériences, succombaient-ils réellement à l'influence de la substance toxique qui s'y déversait? C'était probable, mais nullement certain. Ces résultats m'amenèrent à conclure que ces expériences ne pouvaient me servir à rien.

Nos connaissances ichthyopathologiques sont malheureusement encore bien peu étendues.

Je cherchai à tirer du nombre des mouvements respiratoires, des battements des opercules, un signe capable de me fournir des renseignements sur l'état morbide du poisson. Certaines substances augmentaient, tandis que d'autres diminuaient le nombre des mouvements respiratoires. Et pourtant, je ne suis pas parvenu à constater à ce sujet une régularité digne d'être prise en considération.

Je constatai aussi la production de colorations particulières de la peau ; les animaux devenaient tachetés. Je vis se produire à la surface du corps de mes sujets des mouvements rappelant le tressaillement nerveux. Les branchies devenaient parfois plus rouges, ou bien elles pâlissaient.

J'observai même des hémorragies partielles dans les branchies et la sécrétion d'un mucus sanguinolent. Bien que, n'étant pas anatomiste, je fusse par conséquent un opérateur peu habile, je constatai cependant, en ouvrant leur cavité cranienne, que chez certains individus morts, le cerveau était fortement

hyperémié, tandis que chez d'autres il était tout à fait anémié.

Les faits que je viens de mentionner, je les ai signalés, non pas parce qu'ils m'ont été de quelque utilité, non pas parce qu'ils m'ont permis d'en déduire des symptômes pathologiques utiles, mais uniquement pour faire remarquer que certains caractères pathologiques ne m'ont pas échappé, bien que je ne sois pas en état de déduire de mes observations une loi quelconque.

Cependant, dans de semblables expériences, il est indispensable de pouvoir déterminer des symptômes certains de l'état morbide provoqué, afin de les distinguer des symptômes d'autres affections pathologiques. On y parvient quand il s'agit d'une maladie aiguë produite par l'action du poison; mais dans des expériences prolongées, on s'expose à de grossières erreurs.

A l'époque où j'ai commencé mes expériences destinées à déterminer les effets nuisibles provoqués par les éléments des eaux industrielles et des eaux vannes, vers la fin de 1870, nos connaissances relatives à l'ichthyopathologie étaient très minimes.

On connaissait bien la pustulose de la carpe et des espèces voisines, la maladie tachetée des truites, le rouget de la tanche, la gale des poissons, qui a été observée chez une série d'espèces; mais les publications de Hilgendorf et Paulicki, de Wittmack et de Levingstone Stone, tout en permettant de supposer que ces maladies étaient probablement causées par des parasites animaux, laissaient encore bien des doutes sur les causes réelles de la plupart d'entre elles et sur leurs effets.

Pour d'autres maladies, on admettait qu'elles étaient dues à des parasites végétaux, moisissures, champignons, Saprolé-niacées (Byssus); mais on était loin d'avoir acquis à cet égard la certitude qu'ont établie les cultures pures de ces parasites faites, sur son milieu solide, par Robert Koch.

On a pu récemment distinguer une série d'affections morbides, que l'on ne caractérisait que d'après leurs symptômes sans en connaître généralement les rapports de cause à effet.

Il était réservé au savant zoologue, M. le Profr Dr Bruno Hofer, qui a consacré sa vie à l'étude des maladies des poissons, d'établir un ordre systématique dans ce chapitre difficile et complexe de la pathologie.

Je ne puis naturellement songer à exposer ici, dans leur ensemble, les importants travaux de Hofer ni de mentionner toutes les études spéciales auxquelles il s'est livré.

Je dois me borner à renvoyer à ses publications dans le *Zeitschrift für Fischerei*, 1895 : « Ueber Fischkrankheiten » et aux nombreuses notices que contient le *Münchener Allgemein Fischerei Zeitung*.

A la fin de ce chapitre, lorsque j'aurai exposé les résultats des expériences les plus récentes entreprises, après moi, sur l'intoxication des poissons, je me réserve de revenir, avec un peu plus de détails, sur la question des maladies des poissons.

Dans des expériences de longue durée, il est pour le moins très probable que certaines substances nuisibles en solutions peu concentrées ne déterminent pas la mort de l'animal, mais que l'animal meurt des suites de certaines lésions que ces substances engendrent dans certains organes, des suites d'ulcérations ou d'autres lésions semblables.

Des symptômes pathologiques de ce genre ont déjà occasionnellement été observés, comme nous l'avons vu, et, à la vérité, en certains cas, dans des circonstances qui ne permettent pas d'admettre qu'il faille en attribuer les causes à des résidus industriels.

Si donc, dans des expériences de longue durée, faites dans un milieu très faiblement intoxiqué, nous observions des affections morbides, il ne serait pas toujours impossible que ces affections ne pussent devoir leur origine à d'autres causes. Mais si dans ce milieu il ne se produisait que certaines manifestations morbides, toujours les mêmes, nous serions en droit de considérer ce milieu comme étant leur cause réelle. On m'a souvent apporté des poissons morts en me priant d'en déterminer la cause. Par l'analyse chimique il n'est pas possible, sauf dans quelques rares exceptions, de rien décider à ce sujet. Même

lorsque la mort a été occasionnée par un empoisonnement très aigu, l'eau ambiante lave l'animal jusqu'au moment de sa mort et même, après, son cadavre, et le débarrasse de toute trace de la substance toxique, ce qui rend impossible la recherche chimique de cette substance. D'autre part, nous ne pouvons pas baser grand jugement sur les symptômes pathologiques qui peuvent se manifester, parce que, même actuellement, nos connaissances sur ce sujet sont encore peu précises.

Il faut reconnaître cependant que, grâce aux installations de la « Station royale bavaroise de recherches relatives aux pêcheries et aux maladies des poissons », qui, primitivement fondée et protégée par la « Deutcher Fischerei-Verein », est actuellement subventionnée par l'Empire d'Allemagne, M. le Prof[r] Hofer travaille, depuis plusieurs années, avec succès à Munich, et qu'il nous a déjà fourni d'importants résultats. D'autres stations biologiques, créées plus récemment dans un but un peu différent et dont nous aurons l'occasion de parler ultérieurement, ont aussi contribué à étendre nos connaissances dans ce domaine.

Néanmoins, pour le moment, les résultats fournis par des expériences de longue durée ne doivent encore être acceptés qu'avec circonspection.

D'autre part, il règne aujourd'hui une très grande activité industrielle dans tous les États, et, par conséquent, presque partout il est possible de rechercher l'influence qu'exercent sur le poisson les résidus de l'industrie.

Si je résume brièvement ce que j'ai développé jusqu'ici, il s'ensuit que nous avons à élucider les diverses questions et propositions suivantes, concernant l'action nuisible qu'exercent les eaux industrielles et les eaux vannes :

1° *Les poissons d'espèces et de genres différents présentent-ils le même pouvoir de résistance aux substances toxiques?*

2° *Le pouvoir de résistance d'une même espèce considérée à différents âges (depuis le germe et même le sperme jusqu'à l'état adulte) est-il variable et à quel degré?*

3° *La nourriture nécessaire à chaque phase du développement des différents poissons, c'est-à-dire la flore et la faune d'un cours d'eau, ne subit-elle pas aussi l'influence délétère de ces substances ?*

4° *Qu'entend-on par* EAU NORMALE *pour les poissons ?*

5° *Dans quelles limites sa température peut-elle varier et quelle est l'influence éventuelle de cette dernière sur la force de résistance des poissons aux diverses substances nuisibles ?*

6° *Quelle action exercent, dans les cours d'eau naturels, les corps solubles :*

a) *gazeux,*
b) *solides ?*

7° *L'influence des constituants d'une eau naturelle sur la flore et la faune peut-elle se constater ?*

8° *Quelle est l'influence qu'exercent sur le poisson les souillures naturelles et celles qui résultent de l'activité humaine ?* Nous pouvons subdiviser ces impuretés de la façon suivante :

a) Matières insolubles :
  α) organisées ;
  β) organiques ;
  γ) inorganiques ;
b) Matières solubles :
  α) solides ;
  β) liquides ;
  γ) gazeuses.

9° *Que savons-nous concernant les conditions biologiques normales du poisson sain ?*

10° *Que savons-nous concernant les maladies des poissons et quels sont les symptômes par lesquels elles se manifestent ?*

11° *Quelle échelle pouvons-nous adopter pour apprécier le degré de nocuité des diverses substances toxiques ?*

12° *Quelle est la façon la plus rationnelle de procéder aux expériences ?*

On comprend qu'il n'est pas d'homme de science, si universelles que pussent être ses connaissances, qui saurait résoudre

toutes ces questions par la voie expérimentale. Pour arriver à un résultat aussi satisfaisant que possible, il faudrait non seulement le concours de plusieurs savants, mais encore une longue série d'années, dépassant de beaucoup la vie d'un homme, et des installations scientifiques des plus complètes.

A moi seul je ne puis naturellement songer à résoudre ces problèmes. Je souhaite seulement que les résultats essentiels de mes recherches ne présentent pas trop de lacunes !

Avant de passer à la description de mes nombreuses expériences, entreprises de 1877 à 1891, et d'en signaler les résultats, je parlerai des documents bibliographiques que j'ai examinés à l'occasion des recherches que j'ai faites en vue de résoudre les diverses questions que je viens d'indiquer dans l'introduction qui précède.

Je signalerai en même temps quelles étaient les lacunes que mes propres recherches pouvaient tenter de combler ; jusqu'à quel point j'étais à même de faire avancer l'état de nos connaissances.

Après avoir exposé mes propres expériences, je ferai une appréciation critique des résultats les plus récents signalés par les auteurs qui se sont occupés de la question après moi.

Nous constatons tous les jours que les poissons de genres et d'espèces différents sont différemment sensibles aux influences extérieures. Cette proposition a paru si naturelle que, pour autant que je le sache, nos rares prédécesseurs n'ont pas jugé nécessaire d'en parler une seule fois.

Paul Bert [1] cependant, se basant sur des expériences d'intoxication directe qu'il entreprit sur le véron, l'anguille, le saumon, l'épinoche et l'ablette, fait remarquer que certaines espèces sont particulièrement sensibles, tandis que d'autres sont remarquablement résistantes.

J'ai entrepris des expériences sur un grand nombre de nos poissons comestibles, appartenant à des genres et des espèces

[1] *Comptes rendus*, 1871.

différents, en vue de déterminer leur sensibilité relative. Je m'attachai nécessairement à les placer, autant que possible, dans des conditions identiques.

Mes recherches ont porté sur dix-huit espèces et variétés de poissons, ainsi que sur l'écrevisse. Les poissons ont été étudiés à divers stades de leur développement, comme l'indique l'énumération suivante. Dans ce tableau, j'ai mentionné, en outre, la taille des individus soumis à mes expériences.

	Moyenne de la longueur des individus observés, exprimée en centimètres.	Minimum et maximum de la longueur des individus observés, exprimée en centimètres.
1. Perche de rivière (*Perca fluviatilis*)	13	12–15
2. Épinoche (*Gasteroteus aculeatus*)	5	4– 6
3. Silure (*Silurus glanis*)	27	27
4. Silure de petite taille	9	9
5. Saumon (*Salmo salar*) de petite taille [1]	8	6– 9
6. Saumon, individus tout petits [1].		
7. Saumon, alevins encore pourvus du sac vitellin.		
8. Saumon, œufs.		
9. Truite (*Trutta Fario*), individus de grande taille	18	16–19
10. Truite, individus de taille moyenne	14	10–15
11. Truite, individus de petite taille	8	7– 9
12. Truite, individus tout petits [1].		
13. Truite, alevins encore pourvus du sac vitellin.		
14. Truite, œufs.		
15. Ombre-chevalier (*Salmo salvelinus*)	3	3– 4
16. Saumon de Californie (*Salmo Quinat*)	8	7– 9
17. Truite américaine (*Salmo fontinalis*), alevins encore pourvus du sac vitellin.		
18. Truite américaine, œufs.		

[1] Je dois les saumons, à peu d'exceptions près, à l'établissement impérial de pisciculture de Hüningen. Je les ai reçus, grâce à l'obligeance de son aimable directeur, M. Haack.

	Moyenne de la longueur des individus observés, exprimée en centimètres.	Minimum et maximum de la longueur des individus observés, exprimée en centimètres
	—	—
19. Ombre commun (*Thymallus vulgaris*), individus tout petits [1].		
20. Ombre commun, alevins encore pourvus du sac vitellin.		
21 Brochet (*Esox lucius*)	21	20-22
22. Cyprin carassin, vulg. carpe à la lune (*Carassius vulgaris*, var. *gibelio*)	9	8-10
23. Tanche (*Tinca vulgaris*), individus de grande taille	15,5	13-18
24. Tanche, individus de petite taille. . .	9	8-10
25. Goujon de rivière (*Gobio fluviatilis*). . . .	8,5	6- 9
26. Ablette (*Alburnus lucidus*).	9,5	6-13
27. Meunier rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*)	12,5	10-15
28. Véron lisse (*Phroxinus lævis*)	7	6- 8
29. Loche ou misgurne d'étang (*Cobitis fossilis*), individus de grande taille	17	16-18
30. Loche ou misgurne d'étang, individus de petite taille.	9	8-10
31. Anguille commune (*Anguilla vulgaris*) . .	32	30-35
32. Anguille commune, individus de petite taille.	18	17-19
33. Anguille commune, individus d'un an [2] . . .	8,5	7-10
34. Anguille commune. fretin [3].	6,5	6- 7
35. Écrevisse, individus de taille moyenne.		

Indépendamment d'un certain nombre de communications, plus ou moins dignes de foi, disséminées dans la littérature et relatives à des poissons divers, nous possédons encore, en ce

[1] Je désigne sous cette dénomination de jeunes poissons qui viennent de résorber le contenu de leur sac vitellin, c'est-à-dire âgés d'environ quatre semaines après leur éclosion.

[2] Je les dois à M. le Dr Hermès, directeur de l'Aquarium de Berlin, où ils s'étaient développés.

[3] Ce fretin avait été capturé dans l'Arno et m'avait été envoyé par le Dr Haack, directeur de l'établissement de Hüningen.

qui concerne les influences exercées sur le poisson par les eaux résiduaires de diverses fabriques, des documents : sur la tanche [1] (Grandeau); sur le brochet et « des petits poissons » [2] (A. Wagner); sur l'ombre commun, le chondrostome (*Chondrostoma nasus*), le barbeau (*Barbus fluviatilis* Agg.), le chevaine (*Squalius cephalus* L.), la vandoise (*Squalis leuciscus* L.) et « de petits poissons » [3] (C. Nienhaus); sur l'ablette et le carassin [4] (E. Reickardt); sur divers poissons de la Méditerranée, notamment le *Serranus cabrilla*, le *Crenilabrus mediterraneus*, le *Julis vulgaris*, le *Julis Gioffredi* [5] (Ch. Richet).

P. Bert [6] a fourni des documents sur l'intensité différente que manifeste dans son action la même substance toxique, lorsqu'elle agit sur des poissons de tailles différentes. Toutefois, il n'a pas examiné ce qui se passe quand il s'agit d'embryons en voie de développement. J'ai comblé cette lacune, dans la limite du possible.

Comme on le voit par le tableau qui précède, j'ai déterminé, pour deux espèces de Salmonides, la sensibilité qu'elles manifestent aux trois étapes principales de leur développement. Pour l'une d'elles (truite), j'ai même étudié la sensibilité du sperme. Enfin, j'ai expérimenté sur plusieurs espèces et variétés appartenant au genre *Salmo*. En ce qui concerne les autres espèces de poissons, j'ai également eu soin d'examiner des individus de différentes tailles.

Il conviendrait peut-être encore de rappeler ici, bien qu'elles ne se rapportent qu'indirectement à la question qui nous occupe en ce moment, les recherches faites par H. de Varigny [7] sur des têtards et des œufs de grenouille.

Pour ce qui regarde l'influence exercée sur la pâture du pois-

[1] *La soudière de Dieuze, etc.* Paris, 1872.
[2] *Bayerisches Industrie Gewerbeblatt,* 1874, p. 248. Voir Dingler, p. 7.
[3] *Bericht über die Verunreinigung des Rheins*. Basel, 1883.
[4] *Archiv der Pharmacie,* pp. 219, 43.
[5] *Comptes rendus*, 1881, 93, p. 649.
[6] *Ibidem*, 1871.
[7] *Ibidem*, 1897, p. 1004.

son par les souillures de l'eau, P. Bert [1] nous a signalé des faits dignes d'être mentionnés. Cependant ce sujet n'est nullement épuisé, attendu que nos connaissances relatives à la nourriture des poissons sont bien loin d'être complètes. Quelles sont les substances alimentaires que recherchent de préférence les différentes espèces? Nous ne connaissons pas grand'chose de positif sur ce sujet. Le Dr Pankritius, de Königsberg en Prusse, a paru vouloir s'occuper sérieusement de cette question. Les premiers résultats qu'il a publiés [2] étaient pleins de promesses pour l'avenir; malheureusement il n'a pas complété ses recherches.

Je ne puis cependant pas toucher à cette question de la détermination de la faune qui sert de pâture à nos poissons, sans signaler l'intérêt qu'il y aurait à étendre nos connaissances relatives à cette faune et tout spécialement à celle qui nécessite, pour son étude, l'usage du microscope ou, tout au moins, de la loupe. L'étude de cette faune microscopique me paraît tout particulièrement importante, parce qu'elle doit jouer un rôle considérable dans la culture et la multiplication naturelles du poisson. Elle doit, en effet, constituer la nourriture principale du jeuve alevin.

J'ai ici spécialement en vue la faune pélagique [3], dont l'existence a été mentionnée, il y a plus de vingt-cinq ans, par les travaux de naturalistes scandinaves [4]. Depuis cette époque, elle a été étudiée d'une façon plus détaillée, en Angleterre, en Italie, en Autriche (Bohème), en Suisse et en Allemagne. Dans ce genre de recherches, les zoologues suisses

[1] *Comptes rendus*, 1883, 97, p. 131.

[2] *Mittheilungen der Section für Küsten- und Hochseefischerei des Deutschen Fischerei-Vereins*, 1887, S. 33.

[3] *Schriften der naturforschenden Gesellschaft zu Dantzig*. N. S., Bd VI, Heft IV.

[4] W. LILLJEBORG, *Beskrivning, etc. Oefvertigt af K. Vetensk. Acad. Förh. 1860*. — G.-O. SARS, *Forh. i. Videnskabsselsk.* Christiania, 1861. — *Om en i. Sommeven 1862 foresagen zoologisk Reise.* Christiania, 1863. — *Ferwandskrebs dyr*. Christiania, 1865.

A. Forel [1], Asper [2] et Imhof [3] se sont acquis un mérite tout spécial.

Les recherches de P. Pavesi [4] dans l'Italie septentrionale et celles de B. Hellich [5] en Bohême nous ont aussi fourni de nombreux documents précieux sur cette question. Aussi sommes-nous, dès aujourd'hui, déjà bien renseignés sur la faune des lacs de ces régions de l'Europe.

En Allemagne, jusqu'en ces tout derniers temps, nous ne possédions, sur ce sujet, que quelques travaux de Leydig et de Weismann [6]. Mais récemment O. Zacharias [7] s'en est beaucoup occupé, et il y consacre toute son activité. Nous devons à ce dernier auteur, dont j'adopterai d'ailleurs ici les déductions, des travaux, importants pour nous, sur la faune des lacs de l'Allemagne septentrionale. Comme l'Académie des sciences de Prusse et le Gouvernement prussien encouragent beaucoup ces études, nous pouvons espérer avoir bientôt regagné l'avance que nos voisins avaient, à ce point de vue, jusqu'ici sur nous.

Il y a plus. Zacharias a réussi à créer à Ploen, dans le duché de Holstein, une station zoologique dont il a la direction

[1] *Matériaux pour servir à l'étude de la faune profonde du lac Léman.* Lausanne, 1876.

[2] *Wenig bekannte Gesellschäften kleiner Thiere unserer Schweizerseen.* Zürich, 1880.

[3] *Zeitschrift für Zoologie*, Bd XL, S. 188. — *Zoologischer Anzeiger* 1883, Nr 147; 1885, Nr 196; 1886, Nr 214 und 224.

[4] *Altra serie di richerch i studi sulla Fauna pelagica dei laghi italiani.* Padova, 1883.

[5] *Archiv der landeswirthschaflichen Landesdurchforschung von Böhmen.* Prag, 1877.

[6] *Das Thierleben im Bodensee.* Lindau, 1877. — Voir aussi : *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*, 1874-1879.

[7] *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* (TAGEBLATT DER 59. VERSAMMLUNG DEUTSCHER NATURFORSCHER UND AERZTE, 1886.) — *Zur Kenntniss der pelagischen und littoralen Fauna norddeutscher Seen*, 1887. — *Faunistische Studien in westpreussischen Seen.* (SCHRIFTEN DER NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT ZU DANZIG, 1887.)

depuis la fin de 1891. Le but de ce laboratoire est d'étudier la faune pélagique du grand lac de Ploen, ainsi que le développement embryonnaire de ses représentants. Les moyens de subsistance de cette station ont été fournis en partie par des souscriptions particulières, en partie par l'administration communale de Ploen et, enfin, par le Gouvernement prussien. Nous avons donc le droit d'espérer obtenir prochainement des données importantes sur cette question si intéressante pour la pêcherie.

Les résultats de ces études sont consignés dans les *Forschungsberichten aus der biologischen Station zu Plön* [1], qui paraissent chaque année depuis la fondation de cette station et témoignent de la grande activité scientifique du Dr Otto Zacharias et de ses collaborateurs.

Convaincu de la nécessité de poursuivre des études scientifiques de pisciculture, le *Deutscher Fischerei-Verein* résolut de créer une série de laboratoires de recherches, dont les uns furent directement fondés et subventionnés par lui, comme la *Biologische Station des Deutschen Fischerei-Vereins am Muggelsee*, autrefois dirigée par feu le Dr Joh. Frenzel et dont le directeur actuel est le Dr Schiemenz, à Friedrichshagen, tandis que d'autres, comme la *Biologische Station zur Erforschung von Fischkrankheiten in München*, dirigée par le Profr Dr Br. Hofer, de Münich, a plus tard été adoptée par le Gouvernement bavarois et subventionnée par l'Empire allemand, ainsi que je l'ai déjà dit.

Le duc de Trachenberg, prince de Hatzfeldt, président du *Deutscher Fischerei-Verein*, fonda en outre, dans ses domaines et avec une subvention du *Schlesischer Fischerei-Verein*, une station de culture expérimentale des carpes, qui, dirigée d'abord par le Dr Walter, a aujourd'hui pour directeur le Dr Hoffbauer, à Trachenberg.

Plus tard, les Drs A. Saligo et Dröscher, aidés par le *Deut-*

[1] Stuttgart, Verlag von Erwin Nägele. Le huitième volume a paru en 1891.

scher Fischerei-Verein, ont entrepris, avec plus ou moins de succès, dans une station ambulante, l'exploration scientifique des lacs de la Prusse occidentale et spécialement du Mecklembourg.

Enfin, on dit que dans les cercles industriels, et tout spécialement dans la grande industrie des produits chimiques, commence à se propager l'idée que les industriels qui polluent les cours d'eau doivent fonder des stations scientifiques, autant dans leur propre intérêt — c'est-à-dire pour leur permettre d'éviter des procès coûteux qui pourraient leur être intentés pour les contraindre à épurer leurs eaux résiduaires — que dans le but de coopérer aux efforts que l'on fait pour assainir les cours d'eau publics.

Sous l'impulsion du Dr Schmidtmann, Conseiller privé du département de médecine au Ministère des cultes, le Gouvernement prussien a créé à Berlin, le 1er avril 1901, un laboratoire de recherches et d'expériences pour l'entretien des cours d'eau et l'épuration des eaux résiduaires. Le directeur de cette installation est M. le Profr Dr Carl Güntner ; le directeur adjoint, M. le Dr Thiesing.

A l'étranger, il est vrai, on a, en ces dix dernières années, fait aussi de grands progrès dans le même domaine ; mais les stations et laboratoires allemands dont je viens de parler, consacrés à l'étude de l'assainissement des cours d'eau, donnent l'assurance que dans cette importante mission sociale, l'Allemagne ne sera plus, à l'avenir, à la remorque des autres nations, comme c'était le cas naguère.

On s'est souvent demandé quelle doit être la composition d'une *eau normale pour les poissons*. Souvent aussi on a tenté de répondre à la question. Néanmoins, il faut le reconnaître, nous sommes encore bien éloignés de pouvoir fournir une réponse sérieuse. Nous ignorons même encore des conditions très élémentaires. Nos connaissances sur les limites de la température de l'eau, sur la vitesse du courant et sur une foule d'autres points encore sont si incomplètes, que la question est

bien loin d'être résolue. Nous devons cependant à M. v. d. Borne [1] une publication digne d'être lue, dont le mérite est d'avoir établi quelles sont les données que nous possédons sur ce sujet et celles qui nous manquent encore.

De très nombreuses analyses nous font connaître la composition chimique des eaux naturelles. Mais nous savons bien peu de chose sur l'influence qu'exercent les différents constituants qui s'y trouvent souvent en petite quantité.

Je me suis récemment attaché à réunir tous les documents que nous possédons actuellement concernant la constitution chimique des cours d'eau, et à les soumettre à un examen critique [2]. Dans cette publication, j'ai consacré un chapitre spécial à exposer, *d'une façon plus détaillée que je ne le fais ici*, les observations pratiques relatives aux conditions que doivent remplir les cours d'eau pour satisfaire aux besoins des poissons. Mon but était d'arriver à une appréciation logique du danger qu'offre le déversement des eaux résiduaires.

La nécessité de l'oxygénation de l'eau pour la vie du poisson, nécessité que nous constatons journellement et dont nous devons nous occuper tout d'abord, a fait l'objet, avant les études de Baumert [3], de recherches intéressantes, publiées par Quinquaud [4] et Boussingault [5]. Ces auteurs ont étudié la teneur en oxygène des lacs des Hautes-Alpes. D'importantes

[1] *Das Wasser für Fischerei und Fischzucht.* Neudamm, J. Neumann, 1887.

[2] Vorschiften für die Entnahme und Untersuchung von Abwässern und Fischwässern, aufgestellt von einer wissenschaftlichen Commission des Deutschen Fischerei Vereins nebst Beiträgen zur Beurtheilung unserer natürlichen Fischgewässer, mit 72 Abbildungen; zusammengestellt und redigirt beziehungsweise verfasst von Profr Dr CURT WEIGELT, Vorsitzenden der Commission. (*Verlag des Deutschen Fischerei Vereins.* Berlin, W. Linkstr., 11.)

[3] *Annalen der Chemie und Pharmacie*, Bd LXXXVIII, S. 1, et *Jahresbericht der Chemie*, 1883, S. 20.

[4] *Bulletin de la Société chimique*, pp. 20, 159. (JAHRESBERICHT DER CHEMIE, 1873, S. 841.)

[5] GRAHAM-OTTO, *Lehrbuch der Chemie*, 1878, S. 182.

études, auxquelles nous nous permettrons de renvoyer le lecteur, ont été publiées plus récemment, sur cette question, par K. Knauthe et N. Zuntz.

J'ai cherché, par quelques expériences, à élucider aussi cette question. Je me suis efforcé de déterminer la durée de résistance d'un certain nombre de poissons à l'eau désoxygénée par l'action de l'ébullition. Les travaux de E. Reichardt [1] sur la nocuité des eaux de rouissage du lin ont contribué aussi indirectement à l'étude de cette question, et il en est de même de mes recherches, que j'exposerai plus loin, sur l'influence des eaux vannes putréfiées.

Passons maintenant aux influences que peuvent exercer les impuretés naturelles et celles qui résultent de l'activité humaine. J'ai déjà précédemment dit quelques mots de l'influence exercée par les substances en suspension dans l'eau. J'aurai à y revenir d'une façon détaillée et à parler spécialement de l'action exercée par des débris de substances organisées, organiques et inorganiques. A cette occasion, je rappellerai les recherches de C. Nienhaus [2], de C. Von Ditten [3], de Ferd. Cohn [4] et d'autres.

En ce qui concerne l'influence qu'exercent des corps solubles, il existe de nombreuses recherches. Je mentionnerai les beaux travaux de Grandeau [5], P. Bert [6], A. Wagner [7], Ch. Richet [8] et H. Varigny [9], et je ferai remarquer, en outre, que mes propres recherches concernent principalement ce point spécial de la question.

[1] *Loc. cit.*
[2] *Ibidem.*
[3] *Ibidem.*
[4] *Die Ergebnisse der amtlichen Verhandlungen über die Reinigung der Abflusswässer aus Rohrzuckerfabriken.* Berlin, Kayssler et C°, 1886.
[5] *Loc. cit.*
[6] *Ibidem.*
[7] *Ibidem.*
[8] *Ibidem.*
[9] *Comptes rendus*, 1883, t. XCVII, p. 55.

Je ne sache pas qu'il ait été publié jusqu'ici des recherches sur l'influence qu'exercent sur le poisson des substances solubles liquides. J'exposerai plus loin mes études sur ce sujet. Par contre, il existe sur l'influence des gaz nuisibles des travaux de E. Reichardt.

La plupart des observations consignées dans les mémoires dont nous venons de parler ont été faites à l'aide de substances toxiques isolées. Mais il en est d'autres encore qui ont été entreprises en se servant directement des eaux résiduaires des fabriques. Telles sont les expériences de F. Wagner (usines à gaz), de E. Nienhaus (fabriques de couleurs) et de E. Reichardt (eaux de rouissage du lin). Viennent ensuite mes recherches sur les eaux ménagères et les eaux d'égoût, c'est-à-dire sur des eaux semblables à celles que déversent les égouts des grandes villes dans nos rivières. Je les exposerai plus loin. Enfin, citons les recherches de A. Herzfeld sur les eaux résiduaires des fabriques de sucre. Ces études de Herzfeld présentent un intérêt particulier, parce qu'elles nous renseignent en même temps sur le mode d'action de la plupart des méthodes d'épuration que l'on a proposées ou employées. L'auteur, en effet, a étudié l'influence qu'exercent sur le poisson ces eaux préalablement épurées. Ces recherches ont incontestablement une grande importance pratique. Toutefois, il est souvent fort difficile d'interpréter exactement les résultats que nous fournit l'étude des eaux industrielles sur le poisson. En effet, la nocuité de ces eaux complexes n'est pas souvent la conséquence de l'action *d'une seule substance chimiquement définie;* mais elle peut dépendre de plusieurs causes, qu'il est d'autant plus difficile de séparer que la valeur de l'action simultanée de deux substances toxiques ne doit pas nécessairement être égale à la somme de l'action exercée par ces deux substances prises isolément. Elle peut être plus forte, tout comme elle peut être moindre.

Ce n'est que lorsque nous connaîtrons parfaitement la valeur toxique des diverses substances prises isolément que nous serons à même d'entreprendre, avec quelque chance de succès,

et d'interpréter des expériences faites à l'aide de substances plus complexes.

J'en arrive maintenant à l'exposé de mes propres expériences. Je parlerai en même temps de celles qui se trouvent disséminées dans la littérature.

Je laisserai provisoirement de côté l'étude de l'influence qu'exercent sur le poisson les substances insolubles, dont la nature et l'origine sont des plus diverses. Il n'est, en effet, pas possible d'organiser à ce sujet des expériences directes pour rechercher leur mode d'action et son intensité.

Je réunirai, à la fin de ce chapitre, les observations qui ont été faites sur cette question.

Oxygène. — D'après Baumert [1], 1 gramme de tanche consomme par heure $0^{cc},01$ d'oxygène, tandis que 1 gramme de dorade en consomme $0^{cc},02$ à $0^{cc},035$. D'un autre côté, Quinquaud [2] a trouvé que le poisson exige en moyenne, pour un même poids et dans le même temps, huit fois moins d'oxygène que l'homme. Or, bien que cette quantité d'oxygène indispensable à la vie du poisson soit si minime, Boussingault [3] a calculé que, dans les lacs des Hautes-Alpes, en raison de la diminution du pouvoir de solubilité de ce gaz dans l'eau sous l'influence de la diminution de la pression atmosphérique, les poissons ne pourraient la trouver si l'on n'admettait pas, avec Weith [4], que la flore verte de ces lacs, par l'activité physiologique de la chlorophylle, ne supplée à ce manque d'oxygène. Et, en fait, un certain nombre de ces lacs, qui, d'après les calculs de Boussingault, devraient être dépourvus de poissons,

[1] *Ann. der Chemie und Pharmacie*, Bd LXXXVIII, S. 1. — *Jahresbericht der Chemie*, 1883, S. 20.

[2] *Bull. Soc. chim.* [2], t. XX, p. 159. — *Jahresbericht der Chemie*, 1873, S. 871.

[3] Graham-Otto, *Lehrbuch der Chemie*, 1878, S. 182.

[4] *Chemische Untersuchungen schweizer Gewässer mit Rucksicht auf deren Fauna. Schweizerischer special Catalog der Berliner Fischereianstellung*, 1880, S. 96.

en sont, au contraire, très abondamment peuplés : tels sont, par exemple, les lacs de l'Engadine. Asper [1] y a observé une flore verte très riche, que nous devons considérer comme constituant une importante source d'oxygène.

D'autre part, à l'occasion de ses explorations, faites en 1884 et 1885, dans les deux lacs élevés du Mont des Géants [2], — le grand et le petit Koppenteich, — O. Zacharias a constaté qu'« ils ne possèdent pour ainsi dire pas de flore verte; tout » au moins l'existence de quelques espèces d'Algues vertes et » de l'*Isoetes lacustris* n'est-elle nullement en rapport avec » l'étendue et la profondeur de ces eaux, qui comblent de » véritables gouffres à fond rocheux ». Et cependant, en dépit de cette circonstance, les deux lacs en question hébergent, depuis des siècles, de nombreuses truites, qui peuvent atteindre une taille remarquable et un poids de 750 grammes. « L'oxy- » gène semble être mêlé à l'eau uniquement par l'action des » vents violents, qui, presque journellement, soufflent à la » surface de ces lacs [3]. »

[1] *Bericht über die Fischereianstellung*. Berlin, 1880, S. 135, P. Parey, édit.

[2] Je dois ce renseignement à une communication qu'a bien voulu m'adresser M. O. Zacharias.

[3] A la suite d'un concours institué par le *Deutscher Fischerei-Verein*, M. le Profr FRIEDR.-C.-G. MULLER, de Brandenburg a/H., a construit (voir C. WEIGELT, *Vorschriften*, etc., p. 28) un appareil destiné à déterminer rapidement et facilement les gaz de l'eau (acide carbonique, oxygène et azote). Grâce surtout à cet appareil, MM. N. ZUNTZ et K. KNAUTHE ont pu poursuivre récemment une série d'études sur la teneur en oxygène de l'eau normale et de l'eau polluée (*Biolog. Centralbl.*, Bd XVIII und XIX).

Ces auteurs ont établi que la petite flore verte exerce une action vraiment étonnante sur la teneur en oxygène des eaux dormantes. Il est même surprenant que cette circonstance ait pu être presque entièrement méconnue jusqu'ici. Ils prouvent, en outre, l'action désoxygénante des phénomènes de putréfaction et des substances putrescibles. K. KNAUTHE et O. BERG ont aussi expliqué expérimentalement l'influence qu'exercent les orages sur la mortalité du poisson et sur la teneur en oxygène de l'eau (*Naturwissenschaftl. Rundschau*, Bd XIII). B. HOFER a confirmé

En raison de ces observations, il ne m'a pas paru inutile de rechercher comment agit sur le poisson l'eau désoxygénée.

L'intoxication aiguë déterminée par des substances solubles se traduit par des symptômes si particuliers, qu'il m'intéressait de savoir comment se manifesterait l'influence, sans aucun doute nuisible, de l'absence de l'oxygène, cet élément indispensable à la vie.

Mes expériences ont porté sur des truites, des tanches, des brochets, des rotengles, des vérons lisses et des loches d'étang [1].

Dès qu'ils étaient déposés dans l'eau désoxygénée, obtenue par une ébullition préalable, ces animaux montraient immédiatement une très vive angoisse, qu'ils exprimaient en nageant vivement en tous sens, en même temps qu'ils battaient énergiquement l'eau à l'aide de leurs nageoires et exécutaient des bonds hors de l'eau. Cependant leur pouvoir de résistance, même au début de l'expérience, était relativement considérable.

Mais comme je ne m'étais pas attendu à ces battements violents des nageoires et surtout de la nageoire caudale, mes expériences n'étaient pas concluantes. En effet, ces mouvements violents exécutés par mes poissons devaient nécessairement avoir pour conséquence d'aérer l'eau et, partant, de troubler les résultats de mes recherches. Aussi ai-je eu soin de

maints de ces résultats (*Allgemeine Fischerei Zeitung*), et il est, en outre, actuellement occupé, en collaboration avec VOIT, à déterminer le quotient respiratoire des poissons, à l'aide d'un appareil de construction géniale. Ce travail n'est pas encore publié. Enfin, N. ZUNTZ et K. KNAUTHE se sont aussi livrés à ces études (*Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft* 1897-1898).

[1] Les résultats que je communique ici, tout comme ceux qui se trouvent relatés dans les paragraphes suivants, ne sont que les conclusions des expériences rapportées en détail dans les *documents* que le lecteur trouvera plus loin. Il y trouvera également exposée la méthode que j'ai employée pour effectuer mes diverses expériences.

renouveler ces études, en prenant des mesures destinées à empêcher aussi complètement que possible l'oxygénation de l'eau pendant la durée de l'opération. Ces nouvelles expériences m'ont donc fourni des résultats exempts de sources d'erreur. Je reconnais pourtant que ma méthode d'expérimentation était encore très imparfaite. Les études plus récentes de Knauthe et Hofer, auxquelles j'ai fait allusion plus haut, nous ont donné pour la première fois la conception exacte de ces questions difficiles.

Le résultat le plus intéressant auquel j'étais arrivé par mes premières expériences concerne l'influence directe exercée par la température de l'eau. C'est ainsi que la tanche de l'expérience 5 et le rotengle de l'expérience 6, qui furent placés dans de l'eau désoxygénée à 25°C, se montrèrent beaucoup plus incommodés que ceux qui furent déposés dans de l'eau désoxygénée à 12°C (exp. 3 et 4).

Bien que je n'aie pu prolonger les expériences en question assez longtemps pour amener mes animaux à se coucher définitivement sur le flanc, je crois cependant pouvoir affirmer qu'en raison de la grande habileté que j'ai acquise en répétant si fréquemment ces recherches, j'ai pu apprécier le degré de leur état morbide.

Les mouvements violents et tout spécialement les battements énergiques de la nageoire caudale à la surface de l'eau, je ne les ai constatés ailleurs que dans un certain nombre de cas d'intoxication aiguë par le chlore.

Ce n'est pas sans hésitation que j'oserais risquer la proposition suivante, qui me semble pourtant s'imposer : l'animal aurait-il appris, dans le cours des générations, que ces mouvements parviennent à suppléer au manque d'oxygène?

Voici comment je procédais dans la première série d'expérences dont je viens de parler. Dans un grand ballon de verre, je maintenais de l'eau en ébullition pendant une demi-heure; puis, à l'aide d'un bouchon de caoutchouc, je le fermais

hermétiquement en le maintenant sur le foyer. Je laissais refroidir, le ballon étant renversé, le col plongé dans de l'eau. Le degré de refroidissement une fois atteint, je versais l'eau, ainsi désoxygénée, dans un vase ouvert, et j'y déposais le poisson en expérience. Or, de cette façon, il pouvait et il devait s'introduire dans l'eau de faibles quantités d'oxygène, aussi bien pendant que je la versais dans le vase qu'au cours de l'expérience elle-même. Ce mode d'expérimentation ne pouvait naturellement permettre de prolonger le séjour du poisson dans ce milieu. En effet, dans ce cas, mes résultats eussent été rendus incertains en raison de l'accès *possible* de l'oxygène.

Dans une nouvelle série d'expériences (1891), je modifiai cette méthode. Je calculai la quantité d'eau à faire bouillir, de telle sorte qu'après la réduction de volume consécutive à son refroidissement, le niveau dépassât un peu la naissance du col du ballon. L'ébullition était menée avec précaution et prolongée plus d'une heure. Pendant que l'eau bouillait encore, je versais, par dessus, de l'huile de colza désoxygénée, lavée puis séchée au préalable, en quantité telle qu'elle constituât, dans le col du ballon, une couche de 10 à 12 centimètres de hauteur. Alors, le ballon étant ouvert, je laissais refroidir jusqu'à la température désirée. Une fois cette température atteinte, j'enlevais, à l'aide d'une pipette, une bonne partie de l'huile. Je n'en laissais qu'une couche de 2 à 3 centimètres. Puis j'introduisais le poisson dans l'eau à travers cette couche d'huile et ensuite j'ajoutais avec précaution de l'huile jusqu'à ce qu'il y en eût de nouveau une couche de 10 à 12 centimètres. Afin d'empêcher le poisson de venir se placer au contact de l'huile, j'introduisais enfin, *au-dessous* de la couche d'huile, un disque de treillis métallique, qui siégeait dans l'eau, à la naissance du col du ballon. Ce mode d'expérimentation n'est cependant pas encore parfait, attendu que le col ayant été humecté d'eau pendant l'ébullition, l'huile ne peut y adhérer complètement. On peut, je le veux bien, supposer qu'après plusieurs heures, il s'introduise par là une cer-

taine quantité d'oxygène de l'air; mais, en tout cas, elle ne doit être que très minime.

Les expériences entreprises dans ces conditions nous démontrent de la façon la plus manifeste combien varie le besoin d'oxygène qu'éprouvent les diverses espèces de poisson. C'est ainsi que le véron lisse se couche définitivement sur le flanc 44 minutes après le début de l'expérience, tandis que la tanche et le carassin, placés dans le même milieu, ne manifestent encore le moindre malaise apparent même une demi-heure plus tard. (Voir les exp. 7 à 9.) Ce n'est guère que 5 heures après qu'on l'y avait déposée qu'une autre tanche atteignit cette limite de résistance. (Exp. 10.) La loche d'étang résista plus longtemps et le carassin vivait même encore après un séjour de 20 heures environ, dans les mêmes conditions. (Voir les exp. 11 et 12.)

Ces résultats prouvent qu'il existe des différences tout à fait remarquables, entre les divers genres de poissons, pour ce qui regarde le besoin d'oxygène. Le véron, qui habituellement vit dans les ruisseaux à courant rapide, succombe assez promptement dans l'eau désoxygénée; tandis que la loche et la tanche y résistent longtemps. Quant au carassin, ou, comme on le désigne communément, la carpe à la lune, qui se tient de préférence dans de petites mares stagnantes, troubles et sombres, la pénurie d'oxygène qu'il peut supporter atteint une limite extraordinaire.

Ces expériences, en supposant même que l'on puisse douter qu'elles aient été opérées à l'abri absolu de l'air, me paraissent néanmoins démontrer manifestement que certaines espèces se sont adaptées à des conditions d'existence toutes spéciales, entraînant fatalement et immédiatement la mort pour d'autres espèces.

Quand, en employant notre premier mode d'expérimentation, on expose le poisson à l'action d'un mélange, en parties égales, d'eau désoxygénée et d'eau normale, il n'éprouve aucun préjudice. Il est vrai que la truite de l'expérience 13 paraissait très incommodée dans ce milieu; mais, cependant, elle y

séjourna pendant une heure sans qu'il en ait résulté des conséquences fâcheuses.

ANHYDRIDE CARBONIQUE. — E. Reichardt est le premier auteur qui ait attribué la nocuité des eaux de rouissage du lin, nocuité qu'il a constatée lors de ses recherches sur l'intoxication du poisson, à ce fait que la quantité d'oxygène qu'elles renferment est notablement diminuée par suite de la décomposition putride des substances organiques. Il a fait, en effet, des analyses des gaz contenus dans ces eaux : il a constaté qu'elles renfermaient par litre 64 centimètres cubes de gaz, dont $4^{cc},2$ d'oxygène et $29^{cc},9$ d'azote, tandis que l'eau normale de la Saale renferme 30 à 32 centimètres cubes de gaz, consistant essentiellement en oxygène et en azote. Dans cette eau de la Saale, le rapport entre l'oxygène et l'azote est de 1 : 2, tandis que dans l'eau de rouissage du lin, il est de 1 : 7. L'action toxique des eaux de rouissage est donc due à la diminution du quantum d'oxygène, phénomène que nous devons considérer comme la conséquence d'oxydations; tandis que la quantité d'azote contenue dans l'eau reste la même.

En même temps que se produisent ces phénomènes d'oxydation, la proportion d'anhydride carbonique augmente notablement. Reichardt indique, en effet, les chiffres suivants, calculés pour 1 litre d'eau :

	Eau de la Saale.		Eau de rouissage du lin.	
Oxygène	25,9	= 1	4,2	= 1
Azote	29,9	= 2,86	29,9	= 22,8.
Anhydride carbonique	16,5		65,9	

Comme on le voit, le rapport entre l'oxygène et les autres gaz de l'eau tombe de 1 : 2.86 à 1 : 22.8, ce qui revient à dire que parmi les gaz renfermés dans l'eau de rouissage, il n'existe plus que des traces, relativement minimes, d'oxygène.

Reichardt, n'ayant pu déceler dans les eaux de rouissage la présence de substances directement toxiques (alcaloïdes), attribue la mort des poissons et, par conséquent, la nocuité de

ces eaux, à ce fait qu'elles renferment très peu d'oxygène. Mes recherches sur l'action des eaux vannes putréfiées [1] m'ont conduit à des résultats identiques. J'ai constaté que le rapport entre l'oxygène et l'azote y est de 1 : 27, en même temps que 76 °/₀ du volume total des gaz que ces eaux renferment sont de l'anhydride carbonique. Ces rapports, comme on le voit, sont encore plus défavorables que ceux mentionnés par Reichardt dans les eaux de rouissage.

Il m'a donc paru intéressant d'entreprendre quelques expériences directes à l'aide d'eaux chargées d'anhydride carbonique, d'autant plus que nous devions nous attendre à y puiser de nouvelles données, à ajouter à celles que nous ont fournies les recherches entreprises avec l'eau désoxygénée, concernant le pouvoir d'adaptation des diverses espèces de poissons aux conditions de leur existence.

Les études de Zacharias sur la faune du lac de Laacher, dans les terrains volcaniques de l'Eifel, et dont les eaux, traversées de bas en haut par des sources d'anhydride carbonique, doivent contenir une proportion anormale de ce gaz délétère, permettent de supposer que les poissons, que l'on y rencontre en grande abondance, ont dû s'adapter progressivement à ces conditions d'existence. D'autre part, A. Herzfeld [2], qui, comme nous l'avons dit précédemment, a expérimenté au moyen des eaux résiduaires de fabriques de sucre, c'est-à-dire au sein de liquides très putrescibles et, partant, très riches en anhydride carbonique, rapporte que « la loche d'étang peut vivre plusieurs semaines dans de l'eau tout à fait corrompue ».

Mes expériences ont porté, d'une part, sur des poissons qui vivent habituellement dans des eaux courantes pures, c'est-à-dire pauvres en anhydride carbonique, tels que la truite et le

[1] Voir plus loin.

[2] *Die Ergebnisse der in der Campagne 1884-1885 angestellten amtlichen Versuche über die Wirksamkeit verschiedener Verfahrungsmethoden zur Reinigung der Abflüsswässer und Zuckerfabriken.* (BERICHT AN DEN KGL. PREUSSISCHEN HANDELSMINISTER REICHSKANZLER FÜRSTEN VON BISMARCK. Berlin, Kayssler und C°, 1886, S. 96.)

véron lisse, d'autre part, sur des espèces, comme la tanche et l'anguille, qui se tiennent normalement dans des eaux stagnantes ou peu courantes, et, enfin, sur de vrais poissons de vase, la loche, le carassin et sur l'écrevisse, que nous trouvons d'habitude dans des mares boueuses ou dans des trous marécageux dégageant de l'anhydride carbonique.

Voici comment je procédais à la préparation de mes solutions.

Tenant compte de la pression et de la température, je faisais passer dans de l'eau, pendant cinq ou six heures, un courant continu d'anhydride carbonique, lavé au préalable. J'obtenais de la sorte une solution saturée de ce gaz. Pour produire une solution titrée au degré voulu, je diluais ensuite la solution saturée, au moyen d'eau normale, en négligeant de prendre en considération la teneur de cette eau en anhydride carbonique.

Certes, pendant la préparation de la solution saturée, le dégagement d'anhydride carbonique, qui s'effectuait lentement, devait avoir pour conséquence de diminuer la quantité d'oxygène contenue dans l'eau; cependant, comme nous l'avons vu précédemment, le poisson supportant relativement longtemps l'action de la désoxygénation de l'eau, cette circonstance ne pouvait exercer une influence essentielle sur les résultats de mes expériences.

Ainsi que nous devions nous y attendre, l'anhydride carbonique est éminemment toxique; mais, en même temps, nos recherches ont démontré que certaines espèces résistent, d'une façon surprenante, à son action délétère. C'est ainsi que la loche d'étang et l'écrevisse peuvent séjourner près d'une heure, sans éprouver de préjudice durable, dans une solution à 2 °/₀₀, c'est-à-dire à peu près saturée d'anhydride carbonique. (Voir exp. 14 à 17.) Néanmoins, l'action délétère de ce gaz se manifeste très rapidement par des symptômes morbides spéciaux, même quand on expérimente au sein d'une solution deux fois plus diluée. (Voir exp. 18.)

De deux loches sensiblement de même taille, l'une mit

26 minutes, dans une solution à 2 °/₀₀, l'autre 34 minutes, dans une solution à 1 °/₀₀, avant de se coucher définitivement sur le flanc.

L'anguille est moins résistante : dans une solution à 1 °/₀₀, elle se mit définitivement sur le flanc, après un séjour de 14 minutes (exp. 19). Cette espèce est la plus résistante après les poissons qui vivent dans des eaux vraiment vaseuses; mais il reste à savoir si l'on ne doit pas, comme nous allons le voir, attribuer la cause de ce fait à l'influence de la domestication.

Je n'ai pu disposer d'anguilles « sauvages » pour entreprendre des recherches comparatives.

Une anguille de même taille que celle qui fut soumise à l'action de l'anhydride carbonique à 1 °/₀₀, supporta, près d'une demi-heure, un séjour dans une solution à 0.4 °/₀₀; enfin, des individus de même espèce, mais beaucoup plus jeunes, se maintinrent également dans le même milieu sans se montrer influencés d'une façon sensible (exp. 24, 25 et 26). Il suffit d'élever le degré de concentration à 0.6 °/₀₀ pour provoquer de puissantes manifestations morbides, qui n'entraînèrent pourtant pas de conséquences fâcheuses durables. Plus l'animal est petit et jeune, plus rapidement se fait sentir l'influence de cette substance toxique.

Dans d'autres expériences sur les dangers de l'asphyxie, j'ai souvent observé le contraire, c'est-à-dire que des poissons de plus grande taille se montrent plus sensibles à ces dangers que des individus de plus petite taille. J'ai aussi constaté maintes fois dans la nature, quand des poissons s'étaient trouvés exposés à l'asphyxie par suite de pénurie d'oxygène ou d'excès d'anhydride carbonique, que les individus de plus grande taille étaient plus sensibles.

La tanche est beaucoup plus sensible que l'anguille. En effet, de deux tanches qui furent déposées dans une solution d'anhydride carbonique à 1 °/₀₀, l'une se coucha définitivement sur le flanc après un séjour de 1 $1/2$ minute et l'autre après un séjour de 5 minutes (exp. 21 et 20). Cette différence, relativement importante, que montrèrent ces deux individus

de même taille, en ce qui concerne la durée de leur résistance au même milieu intoxiqué, est tout à fait remarquable, d'autant plus remarquable même que celui qui succomba le plus vite était précisément celui qui fut placé dans l'eau plus froide. Je puis cependant expliquer ce fait très simplement et d'une façon toute naturelle : l'une des deux tanches (exp. 21), achetée chez un marchand de poissons, était, dans une certaine mesure, plus sauvage que l'autre (exp. 20), qui provenait de mon aquarium, où elle s'était pour ainsi dire domestiquée par un séjour de plus de 6 mois. Or, mon aquarium, toujours bien peuplé, ne renferme que rarement de l'eau fraîche; car on ne la renouvelle habituellement que tous les mois. L'individu qui en provenait s'était habitué à vivre dans un milieu beaucoup plus riche en anhydride carbonique, ce qui explique pourquoi il s'est montré plus résistant à l'action de ce gaz.

Le résultat de ces expériences m'avait d'abord surpris. Cependant une expérience plus ancienne, faite dans les mêmes conditions, avec une tanche sauvage, prouvait que je n'étais pas le jouet d'une erreur; d'autre part, deux autres individus, provenant de mon aquarium, se comportèrent très sensiblement de la même manière que l'animal de l'expérience 20, c'est-à-dire qu'ils résistèrent plus longtemps. Cette observation accidentelle, je la considère comme méritant d'être interprétée dans le sens d'une véritable adaptation par domestication.

Nous avons dit que même les jeunes anguilles résistent parfaitement à l'action de l'anhydride carbonique en solution à 0.4 °/₀₀. Dans ce même milieu, le véron (exp. 27) atteint sa limite de résistance après un séjour de 2 minutes seulement; enfin, même dans une solution à 0.2 °/₀₀, cette espèce ne se maintient que pendant 6 minutes (exp. 28).

Il fallait admettre *a priori* que la truite se montrerait très sensible à l'action de l'anhydride carbonique. Cependant, si l'on compare la sensibilité manifestée par cette espèce avec celle de la tanche *sauvage*, soumise à l'action d'une solution à 1 °/₀₀, on constate que la différence n'est pas bien considérable (voir exp. 21 et 22). Nous verrons d'ailleurs que les

différences spécifiques de la durée de résistance s'atténuent beaucoup quand le degré de concentration des substances toxiques est très élevé. Par contre, en opérant à l'aide d'une solution très faible, même à 0.1 °/₀₀, on constate que la truite manifeste un grand malaise qui l'amène en très peu de temps à la limite de résistance (exp. 29). Mais il suffit de réduire relativement peu (0.075 °/₀₀) la teneur en anhydride carbonique (exp. 30) pour voir cette espèce supporter parfaitement l'action de ce milieu.

La proportion d'anhydride carbonique que contiennent les eaux naturelles varie nécessairement entre des limites très considérables, selon la température et la pression. L'eau de pluie en renferme, par litre, environ 1 centimètre cube; dans l'eau de la Saale, qui, à Iéna, héberge encore des truites, Reichardt en a trouvé $16^{cc},5$ (voir plus haut), et Péligot[1] en a signalé 23 à 30 centimètres cubes dans l'eau de la Seine (probablement à Paris). A Paris, la truite n'existe plus dans la Seine.

Nous pouvons donc admettre que les eaux à truite peuvent contenir de 1 à 15 centimètres cubes d'anhydride carbonique par litre, ce dernier nombre étant un maximum. Ce rapport volumétrique correspond, en poids, à environ 0.03 °/₀₀ de CO^2.

Notre expérience 30 nous apprend que la truite ne manifeste pas les symptômes d'une intoxication aiguë, quand on la dépose dans une eau renfermant 0.075 °/₀₀ d'anhydride carbonique. Mais elle ne prouve naturellement pas que cette espèce pourrait vivre continuellement dans un pareil milieu. Au contraire, nous devons admettre que pour être *favorable* au développement de la truite, l'eau doit renfermer un tantième d'anhydride carbonique beaucoup moindre, surtout si nous considérons que ce poisson ne peut vivre dans l'eau de la Seine, qui pourtant n'en contient que 0.06 °/₀₀. Nous pouvons même nous demander si, en définitive, ce n'est pas à l'existence d'un excès d'anhydride carbonique qu'il faut principalement attribuer ce fait que la truite ne peut prospérer dans une foule de ruisseaux dont les eaux sont cependant très limpides.

[1] Voir W. Knop, *Kreislauf*, II, S. 52.

Ce n'est pas certain; mais les expériences précédentes semblent l'indiquer. Je ne sache pas que, lors de l'organisation d'une culture artificielle de la truite, des pisciculteurs se soient jamais avisés de faire rechercher la teneur en anhydride carbonique des eaux dont ils disposaient; mais ce que je sais positivement, c'est que diverses tentatives d'acclimatation de ce poisson sont restées vaines, sans que l'on pût dire pourquoi, et qu'alors non seulement on a perdu inutilement une grande quantité de truites, mais qu'on a subi de grandes pertes d'argent [1].

Il n'eût donc pas été superflu de procéder à quelques recherches analytiques préalables. Je souhaite que ces réflexions ne soient pas inutiles.

Si l'hypothèse que je viens d'émettre vient à se confirmer — et je suis convaincu de sa justesse — nous serions au moins arrivés à une donnée certaine concernant l'un des éléments que ne peut contenir une eau pour assurer le développement de la truite, de l'ombre et d'autres salmonides encore. J'estime que ce serait un résultat appréciable.

L'écrevisse et la loche d'étang montrent, d'après mes expériences, une insensibilité remarquable à l'action de l'anhydride carbonique et de la désoxygénation momentanée de l'eau. Ce fait est un bel exemple du pouvoir d'adaptation de ces animaux aux conditions naturelles dans lesquelles ils ont dû s'habituer à vivre [2].

Chlore. — Je me suis servi de solutions de chlorure de chaux (IV) renfermant de 0.04 à 0.00005 °/₀₀ de chlore. Je les préparais à l'aide d'autres solutions, filtrées et titrées, de

[1] Dans un établissement de pisciculture du Harz, il m'est arrivé, en 1890, de démontrer que les effets funestes que l'on y avait constatés étaient la conséquence de l'écoulement, dans l'eau, de sources contenant de l'anhydride carbonique. J'ai fait cesser ces effets à l'aide de mesures appropriées.

[2] Je renvoie ici à la note placée au bas de la page 22, concernant la faune du lac de Laacher (province du Rhin), dont les eaux sont si riches en anhydride carbonique.

chlorure de chaux dans l'eau. La solution la moins concentrée qui exerce une action *mortelle* directe sur les tanches est de 0.005 °/₀₀. On obtient le même effet sur des truites à l'aide d'une solution de 0.00025 °/₀₀ seulement. La durée de résistance dépend du degré de concentration de la solution, de la taille de l'animal et du pouvoir de résistance relatif de l'espèce de poisson. La tanche est plus résistante que la truite. En effet, en opérant comparativement, au sein d'une solution renfermant 0.001 °/₀₀ de chlore, avec une tanche et une truite de même poids, on constate que la tanche (exp. 41), après un séjour de 3 heures, n'a pas encore atteint la limite de son pouvoir de résistance, tandis que la durée de résistance de la truite (exp. 35) est de 44 minutes et que cet animal meurt dans cette solution après y avoir séjourné 2 heures et 9 minutes. La durée de résistance des truites de taille moyenne est de 34 minutes (exp. 36); elle fut respectivement de 23, 20 et 12 minutes pour des truites de petite taille (exp. 37, 38 et 39). La première (exp. 36) mourut après 1 heure 38 minutes, et chacune des petites après 34 minutes seulement. En déposant ces animaux dans de l'eau fraîche, après qu'ils eurent atteint la limite de résistance, je n'empêchais nullement la mort de survenir (exp. 38 et 39). Elle survenait même aussi vite que lorsque l'animal avait été maintenu dans la solution, une fois la limite de résistance atteinte (comparer les exp. 37, 38 et 39).

Cependant lorsque l'animal était enlevé de la solution avant qu'il commençât à se coucher définitivement sur le flanc, alors il continuait à vivre (exp. 40); tandis qu'il succombait invariablement, même s'il s'agissait de solutions très peu concentrées, de 0.0008 °/₀₀ par exemple, si l'on attendait qu'il eût atteint sa limite de résistance (exp. 47). Il a été démontré, par des expériences de contrôle, que, même pendant la durée des expériences, le degré de concentration des solutions diminuait au contact de l'air. Dans une expérience, on se sert d'une solution qui, au début, renferme 0.0002 °/₀₀ de chlore, c'est-à-dire une dose qui n'est nullement mortelle; puis on ajoute progressivement du chlore, à des intervalles de 10 et de 20 minutes,

jusqu'à ce que le liquide arrive à renfermer 0.001 °/₀₀ de chlore (exp. 56). Dans une seconde expérience (exp. 52), on place l'animal dans une solution à 0.0005 °/₀₀ (qui n'est pas directement mortelle, comme le prouvent les expériences 48 et 49); puis on le replace successivement, après les mêmes intervalles de 10 et de 20 minutes que dans l'expérience précédente, dans une nouvelle solution à 0.0005 °/₀₀, c'est-à-dire ayant la même concentration. Dans l'un comme dans l'autre cas, l'animal meurt; mais il meurt moins vite dans la première que dans la seconde expérience.

Pour les truites « de toute petite taille », et j'entends par là les individus qui viennent d'absorber leur sac vitellin et qui commencent par conséquent à rechercher exclusivement leur nourriture dans l'eau, ainsi que pour les embryons, il n'est pas facile de reconnaître avec sûreté le moment précis où l'animal se couche définitivement sur le flanc, pas plus qu'il n'est facile de déterminer le moment exact de la mort.

Dans une solution à 0.001 °/₀₀ de chlore succombaient à coup sûr des truites et des ombres « de toute petite taille » ainsi que des truites pourvues encore de leur sac vitellin, alors que la durée de l'expérience n'était que de 15 minutes (exp. 43 et 44). Il en fut de même pour des individus de même âge qui avaient été tenus pendant 15 minutes dans une solution à à 0.0005 °/₀₀, et pour d'autres qui avaient séjourné pendant 1 heure dans une solution à 0.00025 °/₀₀ (exp. 53). Mais, par contre, survécurent des individus de même âge qui étaient restés 15 minutes dans une solution à 0.00025 °/₀₀, puis avaient été mis dans de l'eau fraîche (exp. 54).

On pourrait donc considérer ce degré de concentration (0.00025 °/₀₀) comme représentant la quantité maximum de chlore que peut contenir l'eau pour que les truites et les ombres y vivent.

En ce qui concerne les truites et ombres pourvus encore de leur sac vitellin, mes expériences (exp. 44) ne sont pas assez probantes : je n'ai pu déterminer leur limite de résistance pour le chlorure de chaux.

Pour ces deux âges, nous constatons déjà, dans les recherches que nous venons de mentionner, une irrégularité frappante.

Nous trouvons, en effet, en ce qui concerne le pouvoir de résistance, des différences individuelles telles que la durée de résistance (jusqu'au moment de la mort) varie entre de très grandes limites (exp. 43, 44 et 50).

Les œufs de la truite se montrent extrêmement résistants. C'est ainsi que, la durée des expériences étant la même, ils supportaient parfaitement l'action de solutions auxquelles succombaient, à coup sûr, des individus de même espèce pourvus du sac vitellin, des individus « de toute petite taille » et même de jeunes poissons (exp. 46, 44, 43, 42, 39, 38 et 37).

Anhydride sulfureux. — L'anhydride sulfureux (V) exerce sur le poisson la même action que le chlore; mais cette action est encore plus énergique [1].

Une truite de grande taille, placée dans une solution à 0.0005 °/₀₀ d'anhydride sulfureux, se coucha définitivement sur le flanc après 3 minutes (exp. 64), tandis que des truites, même de petite taille, pouvaient séjourner 2 $^1/_2$ heures dans une solution à 0.0005 °/₀₀ de chlore sans en éprouver d'inconvénients. Les truites de toute petite taille sont aussi extrêmement sensibles à l'anhydride sulfureux (exp. 66). Une tanche placée dans une solution un peu plus concentrée s'y montra aussi très sensible (exp. 63).

Cependant, pour que l'anhydride sulfureux exerce une action si énergique, il faut que l'eau soit, au préalable, faiblement acidulée d'acide chlorhydrique. Des expériences que je ferai connaître plus loin, démontreront pourtant que l'acide chlorhydrique seul en solution aussi faible n'exerce absolument aucune action nuisible sur le poisson. Dans l'expérience 59, l'anhydride sulfureux étant resté sans action sur une

[1] Il est naturel que lorsqu'une solution de chlorure de chaux est acide, son action nuisible augmente. J'ai fait des expériences à ce sujet; toutefois, je n'en ai pas relaté les résultats dans les *documents* ci-annexés.

truite de grande taille, j'eus l'idée, dans l'expérience 60, d'aciduler légèrement, au préalable, mon eau avec de l'acide chlorhydrique. L'effet produit fut saisissant. Les sels de chaux que contient l'eau doivent, dans la nature, détruire en grande partie les effets de l'anhydride sulfureux.

ACIDES CHLORHYDRIQUE, SULFURIQUE ET NITRIQUE. — Des trois acides inorganiques les plus communs, à savoir l'acide chlorhydrique (VI), l'acide sulfurique (VII) et l'acide nitrique (VIII), le premier cité, à cause de son prix minime, se rencontre très souvent dans les eaux industrielles. C'est lui aussi qui exerce l'action la plus énergique comme l'avait déjà démontré C. Nienhaus [1]. 1 °/₀₀ de cet acide suffit pour déterminer la mort certaine des truites et des tanches. Ces dernières pourtant résistent plus longtemps que les premières (exp. 67, 68, 76, 77, 78 et 83). Tandis que la truite placée dans une solution à 0.1 °/₀₀ d'acide sulfurique (exp. 78) présente une durée de résistance variant, suivant sa taille, entre 2 et 6 heures, la tanche (exp. 81), même après un séjour de 18 heures dans cette solution, n'est nullement inquiétée. Enfin, des solutions de cet acide inférieures à 0.1 °/₀₀ n'exercent plus d'action sur la truite.

Un petit saumon s'est montré plus sensible qu'une truite de même taille à l'action de l'acide chlorhydrique (exp. 73 et 74).

L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique en solution à 0.5 °/₀₀ exercent une action très nuisible sur le sperme de la truite; mais ici l'action de l'acide sulfurique est plus énergique que celle de l'acide chlorhydrique (voir les documents *B*).

ACIDE OXALIQUE. — Une solution à 0.1 °/₀₀ d'acide oxalique (IX) n'a pas exercé la moindre action nuisible sur une truite qui y avait séjourné une demi-heure.

TANIN. — Il en fut de même pour le tanin à 0.1 °/₀₀ (X). Je me servis ensuite d'une solution de tanin à 10 °/₀₀, concentration qui ne se rencontre guère dans la pratique, et j'y plaçai une truite pendant une demi-heure. L'animal, déposé immédiatement après dans l'eau courante, y mourut après 40 heures (exp. 96).

[1] *Loc. cit.*

Une tanche qui avait aussi été placée dans une solution de tanin à 10 °/₀₀ pendant une demi-heure, puis mise dans l'eau courante, ne manifesta pas le moindre symptôme morbide (exp. 97).

Hydrate calcique. — L'hydrate calcique, que déversent dans nos cours d'eau différentes industries, se montre très nuisible au poisson. Une truite de taille moyenne mourut après un séjour de 26 minutes seulement dans une solution à 0.07 °/₀₀ de cette substance à la température de 16° C (exp. 106). Par contre, une solution de 0.03 °/₀₀ n'exerça aucune action sur une truite de même taille que l'on y avait déposée pendant 2 heures (exp. 107).

Si l'on compare ces expériences avec celles faites à l'aide du carbonate sodique, et dont nous parlerons plus loin, on constate que la chaux est beaucoup plus nuisible que le carbonate sodique. Je ne puis m'expliquer ce fait qu'en admettant que la chaux, outre son action caustique, exerce peut-être en même temps une action mécanique. Quand l'eau chargée de chaux passe entre les branchies, elle y rencontre de l'anhydride carbonique, produit de la respiration. Toutes les conditions nécessaires à la formation de cristaux aigus de spath calcaire, de très petite taille, se trouvent par conséquent réalisées. J'ai, en effet, trouvé les branchies des poissons ainsi exposés, sanguinolentes en certains points; il s'en épanchait même quelques gouttes de sang.

Ammoniaque. — La durée de résistance des poissons pour l'ammoniaque (XII) est intermédiaire entre celle pour le chlore et celle pour les acides. En effet, une solution à 0.01 °/₀₀ n'exerce déjà plus d'action sur eux (exp. 114 et 115). Quant aux symptômes qui se manifestent sous l'influence de l'ammoniaque [1], ils varient beaucoup, comme on peut le voir en lisant les documents ci-annexés.

[1] B. Hofer donne une explication de ces symptômes particuliers. Pour lui, l'ammoniaque exercerait une action toxique sur les nerfs. Il interprète les convulsions que j'ai observées comme la conséquence d'irritations nerveuses déterminées par le poison.

Carbonate ammonique. — Le carbonate ammonique (XIII) en solution à 3 °/₀₀ n'exerce aucune influence lorsqu'on le fait agir pendant une demi-heure, même sur des truites de petite taille (exp. 116).

Je dois, à ce propos, mentionner les expériences que A. Wagner [1] a faites pour déterminer la nocuité des eaux résiduaires d'une usine à gaz. Dans de l'eau contenant 1 °/₀ de ces résidus, il plaça *deux petits poissons*. Ils se montrèrent aussitôt très agités, dit-il, cherchèrent à s'échapper; puis, 1 minute après, ils se couchèrent sur le dos et moururent après 6 minutes. D'autres poissons déposés dans une eau contenant 0.5 °/₀ de ces résidus d'usine à gaz étaient sur le dos après 5 minutes et mouraient après 30 minutes. Dans une eau qui n'en contenait que 0.25 °/₀, les mêmes phénomènes se produisirent respectivement après 1 heure et après 1 $^1/_2$ heure.

« Dans une eau qui renfermait 0.1 °/₀ de ces résidus d'usine à gaz, les poissons restèrent tranquilles; l'un d'entre eux, qui ne manifestait encore aucun symptôme après 3 $^1/_2$ heures de séjour dans ce milieu, y mourut après 6 heures; un autre (un petit brochet), qui après un séjour de 7 heures ne montrait encore aucune modification, était mort le lendemain. »

Malheureusement l'auteur ne nous fournit aucun renseignement concernant la composition chimique de *ces eaux résiduaires d'usine à gaz*.

Il faudrait, en toute première ligne, attribuer les effets toxiques de ce liquide à l'ammoniaque et au carbonate ammonique [2]. Si nous supposons qu'elle renfermait 3 °/₀ d'ammoniaque libre, comme c'est habituellement le cas, alors l'eau qui, dans l'expérience de Wagner, renfermait le moins de résidu (0.12 °/₀), contenait par conséquent 0.03 °/₀₀ d'ammoniaque. L'effet produit par elle, d'après l'observation de Wagner, est alors en parfaite harmonie avec les résultats de mes expériences.

[1] *Dinglers polytechnisches Journal*, Bayerisches Industrie und Gewerbeblatt, 1874. S. 248.

[2] Et au phénol.

Carbonate sodique. — Le carbonate sodique (XIV) en solution à 3 °/₀₀ n'exerce non plus aucune influence lorsqu'on le fait agir pendant une demi-heure, même sur de jeunes truites. Dans une solution à 5 et 10 °/₀₀, la durée de résistance, pour la truite comme pour la tanche, est de 3 minutes. La truite qui a alors été soumise pendant 3 minutes à l'action de la solution à 10 °/₀₀, meurt après 3 jours dans l'eau courante (exp. 120), tandis que la tanche survit (exp. 121 et 123).

Une truite de grande taille, laissée dans une solution de carbonate sodique à 1 °/₀₀ seulement, mourut après y avoir séjourné pendant 9 heures (exp. 125), tandis qu'une tanche y resta 14 heures sans en souffrir (exp. 128). Une solution à 0.1 °/₀₀, dans laquelle fut laissée pendant 2 heures une truite de petite taille, n'exerça aucune action sur elle (exp. 129). Par contre, le sperme, dans le même milieu, s'altère rapidement. C'est ainsi qu'ayant essayé d'opérer, au sein de cette solution à 0.1 °/₀₀, la fécondation d'un certain nombre d'œufs de truite, 12 °/₀ seulement de ces œufs furent fécondés. Enfin, la fécondation n'est pas possible dans des solutions à 1 et à 2 °/₀₀ de carbonate sodique (voir documents *B*, tableau I, n° 5 et tableau II, n°s 4 et 5).

Savon. — Mes expériences à l'aide du savon (XV) montrent que le poisson est presque insensible à l'action de l'eau de savon claire, limpide, à la température de 16° C; tandis que les eaux de savon troublées par des précipités (savons à base de chaux) exercent une action très nuisible, du moins sur les salmonides de petite taille (exp. 130).

Chlorure manganeux. — Grandeau a constaté, à la température de 20° C, l'action délétère du chlorure manganeux sur la tanche : les animaux mouraient après un séjour de 4 heures dans une solution à 15 °/₀₀. D'après mes recherches, une tanche peut séjourner, sans en être incommodée, pendant 22 ½ heures dans une solution à 5 °/₀₀ de chlorure manganeux, à la température de 8° C. (exp. 132). Une truite resta même relativement indifférente, pendant 5 heures, dans une solution à 1 °/₀₀ de chlorure manganeux, à la même température (exp. 133).

Comme on le voit, le manganèse est supporté facilement, même à des doses relativement fortes.

PERMANGANATE POTASSIQUE. — C. von Ditten[1] propose de purifier les eaux à l'aide du permanganate potassique. Toutefois, il n'a pas fait d'expériences sur l'action que peut exercer cette substance sur les poissons. Il m'a paru intéressant de combler cette lacune. J'espérais en même temps parvenir à décider si l'oxygène qui, comme on le sait, est mal fixé dans le permanganate, ne serait peut-être pas utilisé par le poisson dans la respiration. Je me suis servi naturellement de solutions peu concentrées, attendu que dans la pratique, en raison du prix toujours élevé de cette substance, on ne pourrait songer à l'employer en solution concentrée. J'ai donc expérimenté avec des solutions à 0.01 °/₀₀, solutions qui sont nettement rouges (exp. 134 à 137).

Dans les expériences 138 et 139, l'eau, désoxygénée par l'ébullition, était colorée en rose.

Je n'ai pu constater de symptômes morbides en expérimentant avec des brochets, des ablettes et des rotengles.

L'oxygène, mis en liberté, sert-il à la respiration des poissons? La décoloration progressive de l'eau parle en faveur de cette manière de voir. Toutefois mes expériences ne sont pas assez nombreuses. Je laisse donc provisoirement cette question ouverte. Cependant je suis disposé à admettre qu'il en est bien ainsi (exp. 138 et 139.)

SULFATE FERREUX. — La limite du pouvoir de résistance de la truite est atteinte respectivement après 3, 23 et 24 minutes dans des solutions à 5 °/₀₀, 1 °/₀₀ et 0.5 °/₀₀ de sulfate ferreux (exp. 140, 141 et 144). Une truite, qui avait séjourné 16 heures dans une solution à 0.1 °/₀₀ de $FeSO^4$ + 7 aqu., mourut dans l'eau courante 24 heures après le début de l'expérience (exp. 146). Par contre, une tanche qui avait séjourné 18 heures dans une solution à 1 °/₀₀ n'en fut nullement affectée (exp. 143).

Le saumon de Californie se montre aussi très sensible à

[1] *Loc. cit.*

l'action de cette substance. C'est ainsi qu'en quelques heures, les animaux de cette espèce mouraient dans des solutions à 0.1 °/₀₀ et même à 0.05 °/₀₀ (exp. 145 et 147.)

Pour la première fois, nous avons à mentionner ici que les truites et les ombres « de toute petite taille » ou pourvues encore du sac vitellin sont moins sensibles à l'action de ce réactif que les individus de plus forte taille (exp. 148 et 149).

Le sulfate ferreux exerce aussi une action très nuisible sur le sperme de la truite. (Voir documents *B*, tableau I, n° 3, et tableau II, n°s 9 et 10.) La fécondation n'est plus possible dans une solution à 1 °/₀₀.

Sels ferriques. — L'action des sels ferriques a été étudiée à l'aide du chlorure ferrique (Fe^2Cl^6) et de l'alun ferrique (sulfate ferrico-potassique, $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$). Comme résultat important, signalons que ces substances, même en solution très peu concentrée (0.1 °/₀₀, exp. 157), exercent une action nuisible sur la truite. Par contre, une tanche (exp. 156) supporta, sans manifester le moindre malaise, un séjour de 16 heures dans une solution à 1 °/₀₀ d'alun ferrique.

La durée de résistance de la truite à des solutions de 10 et de 1 °/₀₀ d'alun ferrique, n'est que de 2 à 3 minutes. Si nous calculons, dans ces expériences (exp. 154 et 155), la quantité de fer qui existe dans ces solutions sous forme d'oxyde ferrique, nous constatons que la limite de sa toxicité se trouve entre 0.02 et 0.01 °/₀₀. Dans une solution à 0.05 °/₀₀, une truite peut séjourner 14 heures sans qu'il en résulte pour elle la moindre conséquence funeste.

Le fer agit sur le poisson comme poison spécifique, et non pas, ainsi qu'on pourrait le supposer, comme agent désoxygénant (exp. 146 et 157.)

C. von Ditten [1] a signalé aussi la toxicité des sels ferriques. Il s'appuyait sur des observations de C. Nienhaus [2], qui a extrait hors des branchies de poissons, morts à la suite de certaines expériences, des composés ferriques insolubles.

[1] *Loc. cit.*
[2] *Ibidem.*

Aluns. — Les aluns ammoniacal et potassique (XXI et XXII) exercent une action aiguë équivalente. Comme pour l'alun ferrique, la durée de résistance du poisson à des solutions de 10 à 0.5 °/₀₀ de ces substances est tout au plus de 3 minutes. Dans une solution à 0.1 °/₀₀ (exp. 169), elle est de 13 minutes. Enfin, la limite de toxicité de ces substances se trouve entre 0.1 et 0.05 °/₀₀. Ici aussi, comme avec le sulfate ferreux, on constate ce fait intéressant, que les poissons « de toute petite taille » et ceux qui sont encore pourvus de leur sac vitellin semblent moins sensibles que les individus plus âgés (exp. 168, 171 et 172).

Les aluns forment des précipités dans l'eau employée pour les expériences. Bien que je me sois convaincu à diverses reprises (exp. 162 et 163) qu'en opérant au sein de solutions concentrées, le degré de nocuité de ces substances ne diminuait pas beaucoup lorsque je filtrais mes solutions avant d'y placer mes animaux en expérience, c'est-à-dire lorsque j'excluais l'influence que pouvait exercer directement le précipité en suspension dans l'eau, je suis cependant disposé à admettre qu'il faut attribuer l'insensibilité plus grande que manifestent les poissons « de toute petite taille » à ce fait, que ce précipité floconneux ne peut exercer d'action sur eux (exp. 168, 171, 172 et 174), l'animal n'introduisant dans son appareil branchial que de petites quantités d'eau, ce qui empêche ces gros flocons d'y pénétrer. Le sperme, par contre, est très sensible à l'action de l'alun potassique. (Voir documents *B*, tableau I, n° 4, et tableau II, n°s 7 et 8.)

Si l'on calcule, ici aussi, la quantité d'aluminium que renferment les solutions représentant la limite de toxicité de ces substances, on constate que 0.007 à 0.0038 °/₀₀ d'aluminium sont déjà nuisibles. Les sels d'aluminium sont donc encore plus toxiques que les sels ferriques. Comme on avait pu supposer que l'acide sulfurique combiné dans les aluns exerçait ici une action quelconque, j'ai institué une expérience avec du sulfate sodique. Nous en parlerons plus loin.

L'alun chromique (XXII) est manifestement moins toxique

que les aluns dont nous venons de nous occuper. Il en est de même du bichromate potassique (XXIV). Ces deux substances se montrent même relativement peu toxiques : c'est ainsi que le poisson résiste à des solutions à 0.2 °/₀₀ (exp. 176 et 178).

Sulfate sodique (XXV). — Une truite de grande taille, placée pendant 3 heures dans une solution de sulfate sodique à 1 °/₀₀, ne manifeste pas le moindre malaise (exp. 179).

Nitrate sodique (XXVI). — En raison du prix relativement élevé de cette substance, il n'est guère admissible qu'un établissement industriel bien géré en laisse écouler des quantités importantes. Cependant, le salpêtre du Chili étant aujourd'hui fort employé comme engrais chimique, il pourrait arriver que des eaux de drainage en entraînassent dans certains cours d'eau. De plus, il y avait quelque intérêt à faire un certain nombre d'expériences à l'aide de cette substance, attendu que, si nous nous en rapportons à certaines publications agronomiques, on aurait constaté, dans certains cas, que le gros bétail, élevé au voisinage de champs fumés par le salpêtre du Chili, aurait eu à en souffrir.

Mes expériences ont prouvé que cette substance n'exerce aucune influence sur le poisson, même en l'employant à un degré de concentration excédant celui qui pourrait se trouver réalisé dans les circonstances dont nous venons de faire mention (exp. 180 à 184).

Chlorure ammonique. — Le chlorure ammonique (documents *B*, tableau I, n°s 6 et 7) exerce déjà, en solution à 0.1 °/₀₀, un action nuisible sur le sperme. Bien que, en raison du prix élevé de cette substance, il n'y ait guère nécessité, dans la pratique, de la prendre en considération, j'ai cependant cru devoir faire une expérience parce que le chlorure ammonique joue un rôle important comme substratum nutritif pour les plantes; qu'il est employé souvent comme engrais, ce qui fait que dans certaines circonstances il peut passer dans les cours d'eau comme produit de lavage par les pluies d'un champ récemment fumé. D'autre part, cette substance, contrairement à ce que nous venons de dire pour le nitrate

sodique, n'a pas encore été signalée, que je sache, comme ayant exercé une action nuisible sur les animaux à sang chaud.

CHLORURE SODIQUE ET CHLORURE CALCIQUE. — Grandeau, dans ses expériences sur la tanche, a constaté qu'après avoir séjourné environ 5 heures dans une eau à 20° C., contenant 10 °/₀₀ de chlorure sodique (XXVII) et de chlorure calcique (XXVIII), cet animal meurt. Ayant fait, à la température de 6° C. (exp. 185, 186, 209 et 210), les mêmes expériences, j'ai constaté que ni la truite ni la tanche ne subissait la moindre influence nuisible, même après un séjour de 15 heures. Les recherches de Grandeau ayant été faites à 20° C., la température semblait, par conséquent, exercer une très grande influence sur le degré de nocuité de ces substances.

Pour m'en assurer, je plaçai des tanches dans des solutions à 10 °/₀₀ et à la température de 20° C. Dans le chlorure calcique, la durée de résistance pour un individu fut de 2 heures (exp. 211); pour un autre, de 19 heures (exp. 213), et pour un troisième, de 21 heures (exp. 212). Ces trois sujets ayant été ensuite placés dans de l'eau pure, y moururent après un délai plus ou moins long.

Dans le chlorure sodique à 10 °/₀₀, même un séjour de 21 heures ne suffit pas pour atteindre la durée de résistance (exp. 187 à 189) : je ne constatai pas la moindre action nuisible. Des poissons de toute petite taille et même des alevins encore pourvus du sac vitellin se montrèrent extrêmement résistants (exp. 190).

J'ai voulu faire, avec le chlorure calcique, d'autres expériences encore, parce que cette substance est un des résidus les plus communs de l'industrie. J'ai notamment expérimenté avec des solutions très concentrées, jusqu'à 100 °/₀₀. Il n'est pas probable que, dans la pratique, il puisse exister, d'une façon permanente, dans des cours d'eau, une aussi grande proportion de chlorure calcique. Mais cependant, *à certains moments*, nos cours d'eau peuvent recevoir des eaux résiduaires contenant un tantième aussi important de cette sub-

stance. Il est donc possible que des poissons soient, en fait, exposés momentanément à l'influence de solutions aussi concentrées de chlorure calcique. De plus, ces lessives concentrées pourraient ne se mêler que très lentement à l'eau d'un ruisseau et couler, par conséquent, lentement et sur une grande étendue au fond du ruisseau, de telle sorte que des œufs et des embryons de poissons se trouveraient exposés à leur influence.

Les œufs des salmonides se sont montrés très résistants (exp. 195 et 200); j'ai, à différentes reprises, répété ces expériences. Des solutions très concentrées de chlorure calcique (100 °/₀₀) n'exercent aucune influence nuisible lorsqu'elles n'agissent que peu de temps (5 minutes). Les embryons eux-mêmes sont relativement résistants (exp. 205); ils peuvent rester en vie après avoir séjourné plus de 1 heure dans des solutions à 25 °/₀₀.

Le goujon, l'ablette, l'épinoche sont plus résistants que la tanche, laquelle à son tour résiste plus longtemps que les salmonides.

Mes premières expériences avec l'anguille, le silure, la perche, le brochet et le rotengle étaient destinées à étudier l'influence qu'exerce cette substance quand la température de l'eau est élevée. Mes animaux moururent tous très rapidement.

Mais en opérant à des températures plus basses, j'ai constaté, d'une façon irréfutable, que la nocuité de cette substance est alors réduite à un minimum.

C'est ainsi, par exemple, qu'une anguille de grande taille, placée dans une solution de chlorure calcique à 1 °/₀₀, est gravement atteinte après un séjour de 1 heure, à la température de 21° C., tandis qu'en opérant à 10° C., des anguilles d'un an supportent, sans en être incommodées, pendant 3 $1/2$ heures, l'action d'une solution à 2 °/₀₀. Je les observai même, après l'expérience, 14 jours durant, sans constater qu'elles eussent subi le moindre préjudice (comparer les exp. 227 et 219, 215 et 218).

De petites anguilles, et même du fretin d'anguille, purent séjourner 22 heures dans une solution de chlorure calcique

à 1 °/₀₀, à la température de 11° C., sans en être aucunement incommodés (exp. 228 et 229).

Mes expériences avec les silures donnèrent des résultats semblables. Un silure de grande taille, que j'exposai pendant 2 heures à peine dans une solution de $CaCl^2$ à 5 °/₀₀, à la température de 21° C., mourut 12 heures plus tard, tandis qu'un silure de petite taille, qui avait séjourné, sans en souffrir, pendant 3 heures, dans une solution à 2 °/₀₀, à la température de 10° C., paraissait encore bien portant huit jours plus tard (exp. 216 et 223). Cependant, après ce délai, l'animal sembla éprouver une gêne respiratoire, un besoin d'oxygène : il venait fréquemment aspirer l'air à la surface de l'eau, dans l'aquarium qu'il habitait pourtant depuis plus d'un an ; en même temps, il montrait une persistance tout à fait inaccoutumée à venir se placer dans les couches supérieures de l'eau. Il mourut 10 jours après l'expérience. Je n'ai cependant pas le droit d'attribuer cette mort à notre expérience, attendu qu'à cette époque j'eus à déplorer la perte de plusieurs autres poissons, tanches, anguilles et dorades, qui pourtant n'avaient pas été soumis à l'action du chlorure calcique. Il s'était produit, après une température printanière relativement basse (10° à 14° C.), une augmentation, subite et inattendue, de la température. Or, dans ces circonstances, je constate toujours, dans mes aquariums, des cas de mort inopinée.

Un autre fait qui semble encore démontrer que la mort de ce jeune silure n'est pas une conséquence de l'expérience en question, c'est que pendant sept jours, il se montra alerte et mangeait avec appétit. Enfin, une autre circonstance qui plaide encore en faveur de cette manière de voir, c'est que des vérons, ces poissons si sensibles, ont pu séjourner pendant 22 heures, à la température de 11° C., dans une solution de chlorure calcique à 1 °/₀₀, sans en éprouver dans la suite le moindre inconvénient (exp. 226).

Chlorure magnésique. — Le chlorure magnésique (XXIX) est, à coup sûr, très nuisible lorsque la température est élevée. L'anguille, le rotengle et la tanche meurent après un séjour de

2 heures dans une solution à 1 °/₀₀, la température étant de 25° C. Seule, dans ces conditions, l'ablette résiste (exp. 237 à 240). D'autre part, des solutions de cette même substance à 2 °/₀₀ n'exercent aucune action nuisible, à 10° C., sur le fretin d'anguille pas plus que sur le véron (exp. 234 à 236).

SULFATE MAGNÉSIQUE (XXX). — Dans les mêmes conditions de température (25° C.), le rotengle et la tanche succombent relativement vite, quand on les dépose dans une solution de sulfate magnésique à 1 °/₀₀ : ici encore, l'ablette résiste.

L'ablette est donc particulièrement insensible à l'élévation de la température (exp. 222, 240 et 243).

A la température de 10° C., la solution à 2 °/₀₀ même est tout à fait inoffensive pour la tanche et l'anguille, voire même pour le fretin de cette dernière espèce (exp. 244 à 246).

J'attache une importance toute spéciale aux expériences que je viens de relater concernant l'action qu'exercent, à diverses températures, sur les poissons de ruisseaux, le chlorure calcique, le chlorure magnésique et le sulfate magnésique. Elles nous montrent, en effet, d'une façon très nette, combien des substances, relativement inoffensives à un degré de concentration déterminé, peuvent devenir nuisibles par la seule influence de l'élévation de la température. Ce fait, je l'ai constaté ailleurs aussi, dans le cours de mes recherches, mais jamais, me semble-t-il, d'une façon aussi irréfutable qu'avec ces animaux, qui sont cependant relativement résistants à l'action des substances toxiques.

En ce qui concerne le CHLORURE MAGNÉSIQUE, je n'ai nullement constaté qu'il soit aussi toxique que l'affirme P. Bert [1].

C'est ici le moment de parler des résultats mentionnés par P. Bert et H. de Varigny concernant l'influence des SELS MINÉRAUX DE L'EAU DE MER, c'est-à-dire des chlorures sodique, calcique et magnésique ainsi que du sulfate magnésique.

D'après P. Bert [2], la proportion des chlorures que contient

[1] *Comptes rendus*, 1871.

[2] Je m'en rapporte, pour ces expériences de P. BERT et les suivantes, à ce qu'en a dit J. KÖNIG dans : *Verunreinigung der Gewässer*. Berlin, 1887, pp. 394 et suivantes.

l'eau de mer suffit pour déterminer la mort des animaux d'eau douce en 30 à 40 minutes. C'est ainsi que, d'après cet auteur, une solution qui contenait la même proportion de chlorure magnésique que l'eau de mer en renferme, déterminait la mort du véron en 45 minutes. Le même poisson mourait, en 25 minutes, lorsqu'on le plaçait dans une eau renfermant la même proportion de chlorure sodique qu'en contient l'eau de mer.

P. Bert a, de plus, découvert que, chez les animaux dont la surface du corps est revêtue d'une couche de mucus, la mort est la conséquence d'une action exosmotique exercée sur les branchies : l'épithélium des branchies devient opaque et, en même temps, imperméable à l'oxygène. Chez les animaux dont la peau n'est pas recouverte d'une couche de mucus, comme la grenouille, par exemple, l'exosmose a pour conséquence une vraie dessiccation du corps, et l'animal finit, d'après cet auteur, par perdre le quart ou même le tiers de son poids. C'est ainsi que l'on peut faire mourir une grenouille rien qu'en contraignant une de ses pattes à rester plongée dans l'eau de mer. Une anguille adulte, absolument saine, peut vivre longtemps dans l'eau de mer; mais si l'on enlève, en un point quelconque de la surface de son corps, la couche de mucus qui revêt la peau normalement dans toute son étendue, l'animal meurt en quelques heures.

En résumé, l'anguille est tout spécialement résistante à l'action de l'eau de mer; puis vient le saumon et ensuite l'épinoche. L'ablette, au contraire, y est extrêmement sensible.

D'après les recherches de H. de Varigny, une solution de sulfate magnésique, renfermant, comme l'eau de mer, 2^{gr},2 par litre, n'exerce aucune influence nuisible sur le développement des œufs et des têtards de grenouille. Les têtards éclos dans ce milieu continuent même à croître dans une eau renfermant 4 grammes de sulfate magnésique par litre. Les solutions, de même concentration, de chlorure potassique et de chlorure magnésique agissent de même. Or, l'eau de mer renferme 0^{gr},75 de chlorure potassique et environ 3^{gr},5 de chlorure magné-

sique par litre. Eh bien, des solutions contenant même 3 grammes de chlorure de potassium et 4 grammes de chlorure de magnésium par litre, ne causent aucun préjudice au développement des œufs et des têtards de grenouille. Par contre, ces œufs et ces têtards ne peuvent résister à l'action d'une eau qui contient une proportion de chlorure sodique beaucoup moindre que celle que renferme l'eau de mer, c'est-à-dire n'atteignant pas 20 à 25 grammes par litre. Dans un mélange, en parties égales, d'eau de mer et d'eau douce, les têtards âgés de 10 à 20 jours que l'on y dépose meurent inévitablement, tandis que si l'on y place des têtards de 5 à 6 semaines, ils ne meurent pas, mais ne continuent guère à se développer.

P. Bert s'est aussi occupé de la question importante de l'adaptation. Il est arrivé à des résultats très intéressants en ajoutant graduellement de l'eau de mer à l'eau douce. Il est ainsi parvenu, avec des poissons, des têtards de grenouille, des crustacés et ensuite avec des conferves, à une *demi-adaptation*. C'est l'expression qu'il emploie pour qualifier un phénomène qui consiste en ce que les animaux ou les plantes parviennent à rester en vie dans un mélange d'eau salée et d'eau douce obtenu progressivement, tandis qu'ils succombent rapidement lorsqu'on les fait passer subitement de l'eau douce dans ce milieu. Il est même arrivé ultérieurement à obtenir une *adaptation complète* avec certains crustacés (puce d'eau). Ces animaux, à la suite d'un très long séjour dans un liquide renfermant une proportion de sel correspondant à un mélange, en parties égales, d'eau douce et d'eau de mer, s'étaient à tel point adaptés à ce milieu, qu'ils mouraient dès qu'on les replaçait dans l'eau douce, leur milieu naturel primitif. Ces mêmes crustacés ont permis à P. Bert d'observer un autre phénomène extrêmement curieux.

Lorsque, à l'eau douce dans laquelle ils vivaient, on ajoutait relativement vite, c'est-à-dire dans l'espace d'un petit nombre de jours, une quantité de sel correspondant à celle que renferme un mélange de deux parties d'eau douce avec une partie d'eau de mer, tous les animaux mouraient. Mais quelques

jours après, on voyait apparaître dans l'eau de jeunes puces d'eau, provenant du développement des œufs pondus par les individus morts. Il s'était donc produit une adaptation, non pas de l'individu, mais de l'espèce. Les individus éclos dans l'eau salée ne se distinguaient de leurs parents morts que par leur taille. Tous leurs caractères anatomiques étaient absolument identiques, même examinés au microscope [1].

Les infusoires d'eau douce (*Paramœcium, Colpodes, Vorticelles*), les Diatomées et les conferves résistaient complètement à l'action d'une eau dont la salure était telle, que les poissons et les crustacés que l'on y déposait mouraient fatalement.

D'une façon générale, une eau qui contient une proportion de sel correspondant à un mélange de deux parties d'eau douce avec une partie d'eau de mer est mortelle pour les animaux d'eau douce, mais on peut arriver assez facilement à adapter progressivement les animaux d'eau douce à une eau salée, dont la salure peut atteindre celle que possède un mélange d'eau de mer et d'eau douce en parties égales. Au delà de cette limite, il est très difficile d'obtenir une adaptation. Enfin, pour y arriver, il faut que la salure de l'eau n'augmente que très lentement, d'environ 0gr,1 de sel par jour et par litre.

Acide arsénieux, arsénite sodique. — Les expériences suivantes ont été entreprises afin de déterminer quelle influence exercent sur les poissons ces substances, qui sont toxiques pour l'homme. Des solutions d'acide arsénieux (XXXI) et d'arsénite sodique (XXXII), contenant 0gr,1 de ces substances par litre, n'exercent aucune action toxique sur les truites adultes qui y séjournent 2 heures, pas plus que sur les tanches adultes que l'on y laisse pendant 17 heures (exp. 217 et 252).

Par contre, elles sont très toxiques pour les poissons de toute petite taille ainsi que pour les alevins possédant encore leur sac vitellin (ex. 253). En même temps, la température

[1] L'ouvrage de König, auquel j'emprunte le compte rendu de ces observations, n'indique pas si les nouvelles générations étaient de taille plus considérable ou plus petite.

exerce une grande influence sur l'activité de ce poison redoutable (exp. 248, 251, 253 et 254).

Les poissons, même les plus petits, supportent, même à une haute température, pendant plusieurs heures l'action des solutions de ces substances à 0.05 °/₀₀ (exp. 255).

Arséniate sodique. — L'arséniate sodique (XXXIII) n'est guère moins toxique, si nous tenons compte de ce fait que ce sel renferme une grande proportion d'eau (exp. 257).

L'influence de la température se manifeste ici aussi d'une façon très nette (exp. 258 et 259).

Von Kämmerer [1] a observé à Nuremberg un cas intéressant d'empoisonnement du poisson. Dans un petit étang d'un jardin de cette ville mouraient constamment les poissons que l'on y déposait. Or, on constata que les tissus des animaux morts renfermaient de l'arsenic en même temps qu'un peu de cuivre. Une étude minutieuse fit découvrir que cet arsenic provenait du fond de l'étang, ce qui dépendait de ce que l'on avait enfoui dans son voisinage, longtemps auparavant, des résidus de la fabrication de couleurs arsenicales.

On retrouva même de l'arsenic dans le bois et surtout dans les feuilles des arbres fruitiers du voisinage.

Chlorure mercurique. — Comme on devait s'y attendre, le chlorure mercurique (XXXIV) s'est montré extrêmement toxique. Dans des solutions à 0.1 et 0.05 °/₀₀, la truite et la tanche meurent très rapidement. Quand la limite de résistance est atteinte, l'animal meurt, même si on le place aussitôt dans des conditions normales.

Sulfate de cuivre. — L'eau qui renferme 1 et même 0.1 °/₀₀ de sulfate de cuivre (XXXV) en solution, est aussi extrêmement toxique. C'est ainsi que, pour la truite, la durée de résistance à ces solutions n'est respectivement que de 2 et de 7 minutes (exp. 268 et 269). Cependant, si l'on place le poisson dans de l'eau courante, dès qu'il commence à se coucher sur le flanc, il échappe à la mort.

[1] *Bericht der Verhandlungen bayerischer Vertreter der angewandten Chemie.* Berlin, Springer.

Sur le sperme, une solution à 0.1 °/₀ de sulfate de cuivre n'exerce qu'une faible action nuisible (documents *B*, tableau II, n° 11).

Sulfate de zinc. — Une solution de sulfate de zinc (XXXVI) à 1 °/₀₀ et à la température de 25° C. met un brochet sur le flanc en 10 minutes à peine; mais, cependant, l'animal se rétablit complètement si on le replace ensuite dans de l'eau pure. Dans les mêmes conditions, un rotengle a résisté plus longtemps; mais il mourut cependant, le lendemain de l'expérience, dans l'eau pure où on l'avait immédiatement déposé. Une tanche qui y séjourna une heure n'en éprouva aucun préjudice durable; placée ensuite dans de l'eau pure, elle survécut.

Le sulfate de zinc ne semblait donc pas agir énergiquement.

A la suite d'une communication plus récente que me fit un de mes amis sur un cas de mortalité de poissons, observé en Westphalie, et dont la cause ne pouvait guère être attribuée qu'à l'action toxique du sulfate de zinc, je me décidai à entreprendre quelques expériences nouvelles.

J'opérai à de basses températures; les animaux résistèrent en apparence; mais ils moururent lorsque l'action de ce milieu se prolongeait.

Il fallut n'expérimenter qu'à l'aide de solutions dix fois plus diluées (0.1 °/₀₀) que celle employée dans les expériences précédentes, pour que les poissons résistassent complètement à l'action de ce sel, à la température de 11° C. (exp. 278 à 281).

Le sulfate de zinc, comparativement aux autres sels de zinc, agit donc sur le poisson comme poison énergique.

Chlorure stanneux. — Beaucoup plus énergique encore est l'action du chlorure stanneux (XXXVII), surtout lorsque la température est élevée (25° C.). Placés dans des solutions à 1 °/₀₀, le brochet, le rotengle, la perche et la tanche se couchent définitivement sur le flanc après un séjour de quelques minutes seulement. Déposés ensuite dans de l'eau pure, à la même température, ils meurent très rapidement. Le degré de sensibilité de ces différentes espèces est à peu près

exprimé par l'ordre dans lequel nous venons de les énumérer, c'est-à-dire que la tanche, dans ces circonstances, est la plus résistante (exp. 282 à 285).

Tout autre est l'influence de ce milieu lorsque la température est basse (10° C). A la vérité, à cette température, l'anguille de petite taille et la jeune tanche se couchent sur le flanc après un séjour de 20 à 30 minutes dans une solution à 0.5 °/₀₀ (exp. 286 et 287); mais déposées ensuite dans de l'eau pure, elles se rétablissent relativement vite, sans avoir éprouvé le moindre préjudice.

J'estime d'ailleurs que la nocuité de cette substance doit être attribuée à une double cause. D'une part, aux propriétés toxiques directes du sel dissous, et, d'autre part, à l'action du précipité d'acide stannique qui se forme. Ce précipité s'applique à la surface du corps du poisson, qui devient alors plus ou moins blanchâtre selon la durée de l'expérience et le degré de concentration de la solution. Il est donc possible que l'acide stannique soit résorbé par la peau, en même temps qu'il détermine des lésions externes. Enfin, les flocons d'acide stannique qui se déposent sur les lamelles branchiales déterminent manifestement de très fortes lésions de ces organes.

Cyanure potassique (XXXVIII). — Le cyanure potassique exerce également sur le poisson une action toxique énergique.

Des solutions à 0.01 et à 0.005 °/₀₀ sont capables de mettre, en un temps plus ou moins court, les truites et les tanches dans un état voisin de la mort (exp. 293 et 294). Toutefois, on peut les sauver lorsqu'on les dépose dans de l'eau courante aussitôt que la limite de résistance est atteinte.

Sulfocyanate ammonique et ferrocyanure potassique (XXXIX et XL). — Ces deux substances furent employées respectivement en solution à 0.1 °/₀₀ et à 1 °/₀₀.

Ni l'une ni l'autre n'exerça, dans ces conditions, la moindre influence sur la truite, même après un séjour d'une heure (exp. 295 et 296).

Sulfure sodique. — Les recherches de Grandeau ont surtout porté sur le sulfure de calcium. Il constata qu'en solution

à 0.05 °/₀₀, cette substance détermine en 5 minutes la mort de la tanche, mais que, par contre, lorsqu'on avait placé le poisson dans une solution de 0.016 à 0.039 °/₀₀, on pouvait le faire échapper à la mort si, dès qu'il se couchait sur le flanc, on le soustrayait à l'influence du poison en le replaçant dans des conditions normales.

Les expériences dont je vais parler ont été faites avec le sulfure sodique (XLI). Les poids atomiques de ces deux substances étant à peu près égaux (Na^2S = 78; CaS = 72), les résultats sont bien comparables. J'expérimentai avec des tanches dans des solutions contenant $0^{gr},1$ à $0^{gr},05$ de Na^2S par litre, et cela à la température de 8° C. et de 20° C., afin d'examiner en même temps l'influence de la chaleur.

A 20° C., la durée de résistance pour la tanche, dans une solution à 0.1 °/₀₀, est de 1 heure 20 minutes (exp. 298), tandis que dans une solution à 0.05 °/₀₀, elle est de 2 heures 26 minutes (exp. 300). La tanche qui servit à la première de ces deux expériences mourut six jours après, tandis que celle qui servit à la seconde survécut.

A 8° C., aucun des deux animaux soumis à l'expérience ne mourut. Celui qui avait été placé dans la solution à 0.1 °/₀₀ se coucha sur le flanc après 9 heures 45 minutes (exp. 297).

Indépendamment de cette augmentation considérable de la durée de résistance, due à l'abaissement de la température, un fait étonnant, c'est la décoloration des animaux déterminée par le sulfure sodique, décoloration qui ne disparaît pas même après un très long séjour dans l'eau pure.

Sulfide hydrique (XLII). — Il n'y a pas de doute qu'il faille attribuer l'action toxique des sulfures alcalins au sulfide hydrique qui se forme à leurs dépens. En outre, il existe fréquemment du sulfide hydrique dans des eaux résiduaires (curage des latrines etc.). Il m'a donc paru intéressant d'étudier l'action directe de ce gaz. L'eau contenant 0.1 et même 0.001 °/₀₀ de sulfide hydrique exerce une action si énergique sur les truites, que des individus de grande taille étaient couchés sur le dos après 5 minutes dans le premier

cas (0.1 °/₀₀) et après 15 minutes dans le second (0.001 °/₀₀). Ils furent placés immédiatement après dans l'eau pure; le premier mourut 24 minutes seulement après le début de l'expérience (exp. 302); l'autre survécut (exp. 304). Placée dans une solution à 0,1 °/₀₀, une tanche fut couchée sur le flanc en 11 minutes (exp. 301). Dans une solution à 0.01 °/₀₀, une autre tanche resta 3 heures avant de manifester des symptômes morbides (exp. 303). Ces deux poissons furent alors déposés dans l'eau fraîche. Huit jours après, ils étaient morts, bien qu'ils eussent semblé rétablis complètement des suites de l'expérience.

Sulfide carbonique (XLIII). — Dans 5 litres d'eau, tenant en suspension 2^{gr},5 de sulfide carbonique, une truite résista 7 minutes. Placée ensuite dans l'eau courante, elle sembla se rétablir, mais mourut deux jours plus tard.

Acide phénique (XLIV). — Même en très petites quantités, l'acide phénique est toxique pour le poisson. La limite de sa toxicité se trouve : pour la truite, entre 0.01 °/₀₀ et 0.005 °/₀₀ (exp. 308 et 310); pour la tanche, entre 0.05 et 0.01 °/₀₀ (exp. 307 et 309). Une truite, qui, après 2 minutes de séjour dans une solution à 0.05 °/₀₀ d'acide phénique, s'était couchée sur le flanc, se rétablit complètement dans l'eau courante (exp. 306); tandis qu'une tanche, dont la durée de résistance avait été de 9 minutes et que l'on avait maintenue 1 heure dans la même solution, mourut 15 heures plus tard dans l'eau courante (exp. 307). Dans une solution à 0.01 °/₀₀, une tanche resta 15 heures sans éprouver aucun préjudice (exp. 309). Une truite put séjourner 1 heure dans une solution à 0.005 °/₀₀ (exp. 310) sans en être non plus incommodée [1].

Goudron (XLV). — L'expérience avec le goudron fut faite de deux manières. Dans l'une, j'ai dissous le mieux possible, dans l'eau, une quantité de goudron correspondant à 1 °/₀ du poids de l'eau. Dans l'autre, j'employai une solution à 0.2 °/₀₀. Dans les deux cas, les tanches se montrèrent très affectées.

[1] B. Hofer considère l'acide phénique et les phénols en général comme des poisons du système nerveux.

Toutefois, tandis que, dans la première expérience, l'animal se coucha sur le flanc après 16 minutes, dans la seconde, bien qu'il parût très abattu, il resta 28 heures sans prendre cette position. Bien que, dans la première expérience, l'animal vînt plusieurs fois toucher le goudron, que ses nageoires abdominales semblassent se coller à son corps et que l'on pût, à diverses reprises, constater sur sa peau des taches de goudron assez étendues, cependant il ne mourut pas (exp. 312 et 313).

ALCOOLS MÉTHYLIQUE, ÉTHYLIQUE ET AMYLIQUE (XLVI, XLVII et XLVIII). — De ces trois alcools, le dernier seulement est toxique. Tandis que des poissons purent séjourner 2 heures dans des solutions à 1 °/₀₀ d'alcool méthylique et d'alcool éthylique, sans manifester aucun symptôme morbide; dans la solution à 1 °/₀₀ d'alcool amylique, la durée de résistance de la truite fut de 3 minutes et celle de la tanche de 5 minutes seulement (exp. 316 et 317). Cependant, placés ensuite dans l'eau fraîche, ces animaux se rétablirent. Dans une solution à 0.1 °/₀₀ d'alcool amylique, où l'on pouvait sentir encore nettement l'odeur de cette substance, une tanche put séjourner 14 heures sans en souffrir (exp. 318).

GLYCÉRINE (XLIX). — Une solution à 10 °/₀₀ de glycérine, dans laquelle séjourna une tanche pendant 16 heures, n'exerça aucune influence visible sur elle (exp. 319).

PÉTROLE, HUILE D'OLIVE. — Comme il peut arriver accidentellement que la surface d'un cours d'eau soit couverte, sur une certaine étendue, d'huile ou de pétrole, j'ai entrepris, à l'aide de ces substances, deux expériences. Cinq litres d'eau furent complètement recouverts, dans une expérience, de pétrole (L) et, dans l'autre, d'huile d'olive (LI). Une truite resta dans ce milieu 4 heures et une tanche 20 heures (exp. 320 à 322) sans en éprouver le moindre inconvénient, bien que l'air ne pût arriver au contact immédiat de l'eau.

Mes recherches ont été faites avec de l'huile pure et du pétrole épuré au haut point d'ébullition. Le degré de pureté de ces substances ainsi que le degré de volatilité de la dernière jouent certainement ici un rôle prépondérant. C'est ainsi qu'*a*

priori, il ne faut pas considérer comme inoffensives des huiles rancies ou altérées par des oxydations. De même, le pétrole brut, déversé dans des cours d'eau, anéantit la faune : en effet, les cours d'eau de la région pétrolifère de l'Amérique sont dépourvus de poissons [1]. Les embryons et les alevins notamment en souffrent beaucoup. Nous devons admettre que les éléments gazeux ou très volatils du pétrole brut agissent soit comme désoxygénants, soit directement en raison de propriétés toxiques. En Allemagne, on a aussi constaté une destruction complète du poisson dans certains étangs où s'étaient écoulées des huiles minérales. On peut admettre ou bien que ces substances déterminent des irritations de la peau, qui entraîneraient la formation d'ulcères cutanés, comme on l'a effectivement observé, ou bien qu'elles agissent directement comme poison en traversant les voies digestives. On a constaté souvent une véritable intoxication chez des animaux à sang chaud, et il n'existe aucun motif pour admettre que les poissons doivent présenter à cet égard une résistance exceptionnelle. Au contraire, en ce qui concerne les poissons, le danger s'augmente encore par cette circonstance, que les gouttelettes d'huile ou de graisse, ou bien peuvent rester fixées aux branchies et les agglutinent, ce qui rend très difficile la respiration, ou bien peuvent irriter les organes respiratoires, les ulcérer et en provoquer la paralysie.

J'ai, en outre, entrepris des expériences afin de déterminer le degré de sensibilité des poissons à l'action des EAUX MÉNAGÈRES et des EAUX D'ÉGOUT. Pour ce qui regarde la composition de ces eaux, je renvoie aux documents *C* (voir plus loin).

Ces liquides se montrèrent l'un et l'autre très nuisibles aux poissons. Nous avons prouvé précédemment, par une série d'expériences, la toxicité du sulfide hydrique, dont les eaux ménagères et les eaux d'égout sont nécessairement très riches.

[1] D'après une communication que m'a adressée M. MAC DONALD, membre de la Commission des pêcheries des États-Unis.

Toutefois, ces eaux agissent avec une telle énergie sur le poisson, que l'on ne peut attribuer leur influence à l'action exclusive du sulfide hydrique, ;qui, d'ailleurs, ne se trouvait qu'en minime quantité dans les dilutions qui ont servi aux expériences.

Les analyses que j'ai faites des gaz contenus dans les eaux d'égout m'ont démontré que 76 °/。 du volume total de ces gaz sont de l'anhydride carbonique, en même temps que le rapport entre l'oxygène et l'azote qu'ils renferment est de 1 : 27. Pour les eaux ménagères, ces chiffres étaient moins élevés : 39 °/。 d'anhydride carbonique, et un rapport entre l'oxygène et l'azote de 1 : 10.

La toxicité des eaux d'égout ne doit donc pas seulement être attribuée à la présence de l'anhydride carbonique et du sulfide hydrique, mais aussi, et pour une part très importante, à la désoxygénation des eaux résultant des phénomènes de putréfaction et de fermentation. Quant à l'influence que pourraient *directement* exercer sur le poisson, les bactéries et autres agents de fermentation, je ne crois pas qu'il doive en être question.

Comme nous le voyons, je conclus donc, avec E. Reichardt, que la toxicité des eaux d'égout est due à l'anhydride carbonique et à la désoxygénation ; cependant, je crois devoir aussi attribuer un certain rôle au sulfide hydrique.

A. Herzfeld [1], qui a fait de très nombreuses expériences avec des carpes et des ablettes (*Alburnus lucidus*) dans des eaux polluées par des substances organiques en putréfaction, n'est réellement arrivé à aucun résultat. En effet, ses poissons vivaient, paraît-il, parfois plus longtemps dans des eaux concentrées et troubles que dans les mêmes eaux clarifiées et même diluées.

La *Commission pour la recherche des diverses méthodes d'épuration des eaux des fabriques de sucre* (*Province de Saxe*), qui avait, entre autres, chargé A. Herzfeld des recherches en ques-

[1] *Loc. cit.*

tion, « n'attribue pas une grande valeur » (p. 30) à ces expériences, dont les bases sont fausses. Herzfeld lui-même n'a pas tenté le moins du monde d'expliquer les résultats de ses expériences sur les poissons. D'ailleurs, l'eût-il même voulu, il ne l'eût pu faire, attendu qu'il n'avait même déterminé ni la nature ni la quantité de *gaz* que renfermaient ces eaux! En admettant que l'analyse de ces gaz eût été faite, alors il eût fallu se livrer à des expériences de contrôle, afin de lever la plupart des doutes, si pas tous.

Néanmoins, ce qui ressort à l'évidence de ces expériences de Herzfeld, c'est qu'il est bien difficile d'expérimenter, avec succès, dans des eaux résiduaires aussi complexes. Je m'explique sur l'expression *avec succès* que je viens d'employer. Le succès, tel que je l'entends, ne consiste pas à faire mourir le poisson, mais à rapporter à leurs causes véritables les maladies et les morts que l'on constate.

Dans ces recherches, dont je viens de parler, ainsi que dans celles de C. Nienhaus [1], qui ont été aussi faites à l'aide de mélanges divers d'eaux industrielles et d'eau pure, l'état de trouble du liquide, déterminé par les matières en suspension, devait jouer également un certain rôle.

Nous avons déjà dit brièvement que les matières en suspension dans l'eau *peuvent* influer aussi bien sur le poisson adulte que sur le frai. Mais nous ne pouvons pas mesurer leur degré de nocuité, même lorsqu'elles sont les *seules* substances nuisibles que l'eau renferme. A plus forte raison ne pouvons-nous le faire lorsque l'eau renferme *en même temps* des substances toxiques solubles.

D'une façon générale, on peut dire que les matières minérales insolubles qui troublent les eaux à la suite des fortes pluies ne causent pas de préjudice sérieux aux poissons, *lorsqu'elles ne sont pas de nature toxique* (C. Nienhaus [2], H. S. von Ditten [3]). Toutefois, elles peuvent embourber les amas de frai,

[1] *Loc. cit.*
[2] *Ibidem.*
[3] *Ibidem.*

ou bien, dans un courant très rapide, déterminer des lésions mécaniques chez le poisson qui remonte le courant ou qui se trouve placé dans des réservoirs fixes (C. Leuckart et von Siebold [1]). Quand des substances minérales toxiques, insolubles ou peu solubles, se trouvent en suspension dans l'eau, elles sont naturellement moins nuisibles que les substances en solution, et ce d'autant moins qu'elles sont moins solubles.

Mais il en est tout autrement pour les substances organiques insolubles. C'est ainsi que le frai est gâté par la sciure de bois, les débris d'écorces ou autres détritus semblables qui finissent par se déposer au fond des cours d'eau. Le poisson lui-même en souffre et vit difficilement dans ce milieu. En Norvège et en Finlande, par exemple, où il existe de nombreuses scieries, les cours d'eau se dépeuplent de plus en plus (H. S. von Ditten [2], J. Malmgren [3]).

D'autre part, ces substances organiques insolubles fournissent, sous l'action de l'eau et de ses éléments constitutifs, d'excellents milieux nutritifs pour les micro-organismes de la putréfaction ; et ceux-ci, de leur côté, déterminent, par leurs fonctions vitales, une désoxygénation de l'eau, en même temps qu'ils augmentent la proportion d'anhydride carbonique, d'acides organiques, etc., tous produits de leur activité physiologique.

La même influence est exercée par les substances organiques insolubles très ténues qui se forment, par exemple, dans les égouts ou dans les eaux résiduaires des fabriques d'amidon, des fabriques de sucre, des brasseries et d'autres industries semblables, par précipitation de substances solubles sous l'influence d'autres substances organiques insolubles.

Des matières organiques plus grossières *peuvent* également nuire au poisson, nous l'avons déjà dit. En est-il de même

[1] *Loc. cit.*
[2] *Ibidem.*
[3] *Relation om Timmer flottingen i Sverige och Norge, etc.* Helsingfors, 1884.

pour tous ces micro-organismes qui se développent pendant la putréfaction et la fermentation, et qui vivent *sur* des substances organiques insolubles ou *aux dépens* de substances organiques solubles? C'est ce que nous ne savons pas. Cependant, de nombreuses observations tendent à prouver qu'ils sont plus nuisibles qu'on ne l'admettait jusqu'ici [1].

Jetons maintenant un coup d'œil rétrospectif rapide sur l'ensemble des résultats fournis par les expériences faites au moyen des substances toxiques solubles.

Je ne m'occuperai plus des substances tenues en suspension dans l'eau; je crois en avoir parlé suffisamment.

Toute substance soluble dans l'eau, de nature inorganique ou organique, doit être considérée comme toxique pour les poissons en supposant, bien entendu, que son coefficient de solubilité soit suffisant pour lui permettre d'atteindre la limite à laquelle commence à se manifester la nocuité. Ce n'est donc que d'une façon restrictive qu'il est permis de parler de substances inoffensives.

Toute substance toxique définie exerce sur les poissons de genres et d'espèces différents des influences variables et dont les limites sont très étendues. Chez les individus de même espèce et de même âge, le pouvoir de résistance à la même substance est généralement le même lorsque les animaux sont bien portants. Chez les individus de la même espèce, le pouvoir de résistance varie avec l'âge, c'est-à-dire avec le poids du corps, et cela de telle sorte que l'animal est d'autant plus résistant qu'il est plus âgé ou plus lourd. Cette loi n'est cependant pas sans exceptions, en ce sens qu'elle semble n'être vraie qu'à partir de l'âge où l'animal est entièrement indépendant, c'est-à-dire depuis le moment où le sac vitellin est totalement résorbé jusqu'à l'époque de la maturité sexuelle. En deçà et au delà de ces limites d'âge, on constate d'assez grandes variations individuelles en ce qui concerne le pouvoir de résistance

[1] Récemment, K. KNAUTHE en a fourni la preuve, que l'on ne possédait pas jusqu'ici.

aux substances nuisibles. A ces époques de la vie, la durée de résistance d'animaux de même espèce et de même taille varie notablement d'un individu à l'autre.

Je ne suis pas parvenu à décider d'une façon absolument positive si le pouvoir de résistance des embryons aux substances toxiques est moindre que celui des « poissons de toute petite taille. » Cependant, il semble qu'il en est ainsi. Ce qui est certain, c'est que les embryons et les « poissons de toute petite taille » sont généralement moins résistants que les poissons plus âgés. Mais, par contre, les œufs fécondés ont un pouvoir de résistance égal et même probablement supérieur à celui des individus à peu près adultes appartenant à la même espèce.

Le sperme est aussi très sensible aux substances toxiques. Toutefois, il n'est naturellement pas possible d'établir la valeur de sa résistance relativement à celle des individus de tout âge appartenant à la même espèce.

Il m'a semblé (si je fais abstraction des expériences avec les trois acides) que les substances toxiques entraînent moins la mort du sperme qu'un affaiblissement de son pouvoir fécondant (lire les remarques sur le tableau II, documents *B*), circonstance à laquelle s'ajoute nécessairement l'action nuisible exercée par ces substances toxiques sur l'œuf en voie de fécondation.

La température exerce une très grande influence sur le pouvoir de résistance des poissons aux substances toxiques. Lorsque la température s'abaisse, la durée de résistance augmente et inversement [1].

Comme on devait s'y attendre, l'influence du degré de concentration des solutions est bien plus marquée encore. Cela dépend de ce que nous pouvons diminuer ou augmenter dans des limites relativement très considérables le degré de concentration de nos solutions, tandis qu'il n'en est pas de même pour la température dont les limites, dans la nature, sont relativement restreintes. Plus la concentration est forte, plus

[1] Comparer la note page 54 sur les dangers d'asphyxie.

courte est la durée de résistance, les autres circonstances restant les mêmes. Moindre est la concentration, plus longue est la durée de résistance du poisson. De plus, si l'on élève le degré de concentration de la solution, on constate souvent en même temps que les différences de résistance, résultant des différences d'espèces et d'âges, s'accusent davantage. Il en est de même pour la température, bien que, naturellement, dans des limites moindres.

Toutefois, pour certaines substances dont l'action est très violente, on constate, au contraire, que ces différences peuvent s'atténuer (chlore, anhydride sulfureux, acide phénique, etc.). C'est le cas surtout pour les corps gazeux ou du moins pour les éléments très volatils et pour les poisons métalliques.

L'action exercée par un certain nombre de substances, lorsqu'elles sont employées à un certain degré de concentration et pendant un certain laps de temps, est durable, mortelle. Lorsqu'on soustrait immédiatement le poisson à l'action des substances toxiques ou bien quand on réduit cette action à un minimum, leur influence délétère *peut* être atténuée au point que le poisson se rétablit complètement. Mais, à ce point de vue, on constate de très grandes variations en rapport surtout avec les diverses époques de l'année, c'est-à-dire avec la température.

D'autres substances n'exercent qu'une action momentanée (chlorure calcique et goudron sur les tanches) dans les conditions où elles se rencontrent dans nos cours d'eau. Enfin, d'autres encore, dans les mêmes conditions, restent généralement sans influence (chlorure sodique, sulfate sodique).

Nous pouvons aussi classer d'une autre façon les substances toxiques.

Il y a des poisons propres aux poissons, c'est-à-dire des substances toxiques pour le poisson, et qui, cependant, pour autant que nous le sachions, ne sont pas toxiques pour les mammifères (fer, aluminium). D'autre part, il est des substances dont les effets toxiques se produisent rapidement sur les animaux à sang chaud, et qui n'empoisonnent que momen-

tanément les poissons, si l'on ne prolonge pas trop leur durée d'action. Tel est, par exemple, le cyanure de potassium, à l'influence duquel le poisson se montre relativement résistant. Enfin, d'autres substances, toxiques pour les animaux à sang chaud, le sont aussi entièrement pour les poissons (sulfate de cuivre, chlorure mercurique, chlore, anhydride sulfureux, acides minéraux, alcalis caustiques, etc.).

Les phénomènes pathologiques que produisent les substances toxiques chez des individus différents appartenant à la même espèce se manifestent, pour chaque substance, d'une façon plus ou moins intense, selon les conditions de température et leur degré de concentration. Ils *peuvent* aussi varier avec les diverses substances et avec les diverses espèces de poissons.

Quant à ce qui concerne l'influence exercée sur la faune qui sert de nourriture aux poissons, nos connaissances sont très bornées. Nous ne possédons guère sur ce sujet que les travaux de P. Bert[1] relatifs à l'action qu'exercent les éléments de l'eau de mer sur les animaux d'eau douce. Cependant, le peu que nous connaissons semble nous autoriser à admettre que, à l'exception des crustacés, dont le pouvoir de résistance est très semblable à celui des poissons, les animaux inférieurs résistent généralement mieux aux influences des substances toxiques. Les phénomènes d'adaptation observés chez eux viennent appuyer cette manière de voir. Cependant il convient de dire que les animaux inférieurs ne résistent probablement très bien qu'aux substances relativement peu toxiques, c'est-à-dire à ces substances qui ne font mourir le poisson que lorsqu'elles agissent en solutions très concentrées, à de hautes températures et pendant longtemps. Les vrais poisons, comme le chlore, l'anhydride sulfureux et les sels métalliques toxiques, doivent, sans doute, agir aussi d'une façon très pernicieuse sur la faune inférieure[2].

[1] *Loc. cit.*

[2] Récemment, P. SCHIEMENZ, de Friedrichshagen, et MARSSON, de Berlin, se sont occupés spécialement de ces questions (*Zeitschrift für Fischerei*, 1901). SCHORLER, de Dresde, et le *Zeitschrift für Gewässerkunde*

En ce qui concerne l'influence qu'exercent ces substances sur la flore de nos cours d'eau, nous ne connaissons que bien peu de chose [1]. Par analogie avec ce que nous savons au sujet des végétaux supérieurs, nous pourrions conclure que si la sensibilité des végétaux aquatiques aux poisons violents est moindre que celle des poissons, d'un autre côté ces substances doivent agir plus longtemps sur eux et par conséquent leur nuire quand même beaucoup, les plantes ne pouvant pas, comme les poissons, se soustraire volontairement à leur action délétère.

Si maintenant, en me fondant exclusivement sur les résultats de mes expériences (les résultats des recherches de mes prédécesseurs, je ne puis guère les utiliser ici, parce que je n'ai pas de terme de comparaison), je cherche à établir une sorte d'échelle de la sensibilité des diverses espèces de poissons dont je me suis servi, elles doivent être rangées à peu près de la manière suivante :

Ombre,
Truite,
Saumon,
Ombre-chevalier,
Saumon de Californie,
Truite d'Amérique,
} Salmonides : leur sensibilité générale est la même; leur sensibilité spéciale présente certaines variations, mais peu importantes.

Véron,
Brochet,
Silure,
Anguille,
Perche,
Rotengle,
Tanche,
Cyprin carassin,
Ablette,
Goujon,
Épinoche.

(Dresde) ont donné d'importants renseignements sur la sensibilité que montrent certains organismes inférieurs à l'action d'impuretés organiques spécialement ou sur leur disparition dans des cours d'eau pollués. Cependant, on ne peut encore déduire de ces faits des lois bien certaines.

[1] Lire à ce sujet l'intéressant mémoire du Dr W. MIGULA, *Ueber den Einfluss nach verdunnten Seelösungen auf Algenzellen. Mit 2 colorirten Tafeln.* (Inaugural Dissertation. Breslau, 1888.)

Enfin, je dois ajouter encore que mes expériences n'ont pas été uniformément réparties sur les différentes espèces que je viens de signaler.

Mon désir était d'étudier, avec le même soin pour chacune d'elles, la sensibilité qu'elle manifeste aux diverses substances toxiques. Mais des difficultés m'empêchèrent de mettre à exécution mon projet, et la moindre d'entre elles ne fut pas la défense, faite par les règlements de police, de capturer le menu fretin. Ce sont surtout les poissons communs de nos rivières que je ne pus me procurer, tandis que les salmonides on se les procure toujours facilement en s'adressant à des établissements de pisciculture.

En signalant plus haut les résultats de mes recherches, j'ai, en outre, parlé, d'une façon absolument générale, de la sensibilité que montre « le poisson » dans le cours de son développement embryonnaire, c'est-à-dire que j'ai étendu à tous les poissons d'eau douce des résultats d'expériences que je n'ai pourtant entreprises qu'avec des salmonides. Je crois cependant que l'on ne peut guère faire d'objection à cette généralisation. En effet, en admettant même que les spermatozoïdes, les œufs, les embryons et les individus « de toute petite taille », appartenant à l'espèce truite, fussent plus sensibles à une solution déterminée d'une substance quelconque que les stades correspondants du développement des autres espèces de poissons d'eau douce, d'autre part, il faut ne pas oublier que leur pouvoir de résistance se trouve augmenté par la circonstance qu'ils fraient pendant l'hiver, ce qui atténue l'influence des substances toxiques, tandis que nos autres poissons d'eau douce fraient au printemps ou en été, c'est-à-dire lorsque la température de l'eau est plus élevée, ce qui augmente la toxicité du milieu. D'un autre côté, l'hypothèse que j'émets, que tous les poissons d'eau douce offrent à peu près la même sensibilité pendant les premiers stades de leur développement, ne peut d'ailleurs pas entraîner des conséquences bien graves.

Je ne puis et ne veux nullement prétendre que les chiffres fournis par mes expériences sur la durée de résistance des

diverses espèces de poissons sont des données absolument fixes, que l'on doit admettre irrévocablement pour tous les cours d'eau dans lesquels on désire voir vivre et prospérer le poisson. Les remarques que j'ai faites lorsque j'ai discuté les résultats des expériences entreprises avec des eaux résiduaires brutes, de composition complexe, prouvent déjà surabondamment qu'il est très rare que nous n'ayons affaire qu'à *une seule* substance nuisible, dans les conditions qui nous sont fournies par l'industrie. La présence d'*une deuxième* substance seulement, dans l'eau, modifierait donc déjà mes résultats, mes valeurs numériques. En tous cas, j'ai la conviction que, malgré les défauts inhérents à ma méthode d'expérimentation, défauts que je me suis même attaché à dévoiler sans ménagement, les résultats positifs qu'elles m'ont fournis seront très utiles non seulement pour rechercher les causes de la toxicité, mais aussi pour découvrir les moyens à employer pour en détruire les effets.

Documents A.

Expériences relatives à l'action qu'exercent des substances toxiques solubles sur des poissons de tout âge, depuis l'œuf fécondé jusqu'à l'aduite.

Toutes les expériences que je vais décrire ont été faites dans des récipients cylindriques en verre et d'une capacité de 10 litres. La quantité d'eau intoxiquée que l'on y plaçait était toujours de 5 litres. L'eau employée pour faire les solutions était toujours, sauf dans les cas où le contraire est indiqué, de l'eau de source qui renfermait, ainsi que je l'ai établi par de nombreuses analyses, pour 100,000 parties d'eau :

Substances organiques (d'après Kubel).	Chlore combiné.	Dureté (Mg. CaO).
—	—	—
1.12	4.89	22.18

On pourrait élever certaines objections sur l'emploi de cette eau pour la préparation des solutions à expérimenter, parce

qu'elle renfermait une assez grande quantité de chaux. Je le sais; pourtant, abstraction faite des précipités qui devaient normalement se produire, je n'en ai éprouvé que deux fois des inconvénients directs. Dans un cas, il s'agissait d'une très faible solution d'anhydride sulfureux (V), qui resta inefficace, parce que son action fut neutralisée par celle des éléments de l'eau. Dans l'autre cas, il s'agissait d'expériences faites avec du savon (XV) : il se produisit un précipité abondant. Dans toutes les autres expériences, les éléments naturels de l'eau ne pouvaient influer, le degré de concentration des solutions étant assez élevé pour que l'on pût négliger la perte insignifiante résultant de leur présence. Toutefois, il convient de dire que toutes les limites de résistance obtenues pour les substances dont les effets peuvent être atténués par suite de la présence d'un excès de chaux dans notre eau, sont par conséquent trop élevées, c'est-à-dire qu'en réalité une quantité plus petite de ces substances suffirait pour faire mourir le poisson ou l'incommoder.

Cependant, si l'on tient compte de ce fait, qu'il existe toujours une certaine variabilité individuelle du pouvoir de résistance, alors, en pratique, la légère inexactitude inhérente aux conditions de l'expérience devient absolument illusoire.

Dans nos recherches sur l'action exercée par de minimes quantités de chlore, nous avons fait des expériences de contrôle avec de l'eau distillée, que nous aérions en la secouant. Elles nous ont convaincu que les résultats étaient très sensiblement les mêmes qu'avec l'eau que nous avons employée. Les différentes eaux propres à la vie et à la reproduction du poisson et que, pour être plus bref, j'appellerai « eaux à poissons », se rapprochent toujours plus de la composition de notre eau de source que de l'eau distillée; sans compter qu'en employant de l'eau distillée pour nos expériences, nous eussions fait intervenir un facteur sur l'influence éventuelle duquel pouvaient régner tout au moins des doutes sérieux, attendu que nulle part le poisson ne vit dans de l'eau chimiquement pure.

Lorsque l'animal commençait à demeurer couché sur le flanc, il était déposé, s'il s'agissait d'un salmonide, dans l'un des compartiments d'une auge [1] divisée par des treillis, ou bien dans un vase cylindrique en verre, pourvu d'un appareil qui maintenait toujours l'eau au même niveau, ce vase recevant constamment de l'eau fraîche. S'il s'agissait de poissons autres que des salmonides, ils étaient placés dans de l'eau de source stagnante, que l'on renouvelait de temps à autre, selon les besoins.

I. — Eau désoxygénée (par l'ébullition).

1. Truite de grande taille (*Trutta fario*). Température : 13°C. — L'expérience commence à 12h8'. L'animal fait aussitôt des mouvements d'inspiration violents. Il est fort agité. La respiration est visiblement pénible.

12h9' : il bondit de bas en haut et agite violemment la nageoire caudale.

12h28' : l'expérience cesse. L'animal est très malade. Placé dans l'eau courante, il se couche aussitôt sur le flanc ; pourtant il se redresse après quelques minutes. Six heures plus tard, il semble tout à fait rétabli.

2. Brochet de grande taille (*Esox lucius*). Température : 13°C. — L'expérience commence à 12h13' et cesse à 12h43'. Par moments, les mouvements respiratoires sont violents. L'animal agite violemment la nageoire caudale ; aucun autre symptôme.

3. Tanche de grande taille (*Tinca vulgaris*). Température : 12°C. — L'expérience commence à 2h18'. L'animal est aussitôt très agité.

2h18' : il se rapproche de la surface de l'eau, en inspirant violemment ; il agite l'eau avec la nageoire caudale.

[1] C'était une auge en pierre, c'est-à-dire un bassin en maçonnerie.

2^{h}48′ : la température de l'eau est montée à 14°C. L'expérience cesse. Six heures après, l'animal est tout à fait alerte.

4. ROTENGLE (*Scardinius erythrophthalmus*). Température : 12°-14°C. — Commencée à 2^{h}19′, cette expérience, dont les résultats sont identiques au n° 3, cesse à 2^{h}49′.

5. TANCHE DE GRANDE TAILLE. Température : 25°C. — Expérience commencée à 2^{h}22′. L'animal est très agité; il fait constamment des mouvements d'anxiété violents.

2^{h}29′ : il se rapproche de la surface et cherche à aspirer l'air.

2^{h}31′ : l'animal est très anxieux; il agite violemment l'eau avec la queue; l'expérience est interrompue, parce que ces mouvements de la nageoire caudale sont tels que l'eau s'oxygénerait.

6. ROTENGLE. Température : 25°C. — Expérience commencée à 2^{h}24′. L'animal se couche parfois momentanément sur le flanc. Pour le reste, mêmes phénomènes que pour le n° 5. L'expérience est interrompue pour le même motif. Six heures après, l'animal est tout à fait alerte.

7. VÉRON LISSE (*Phoxinus lævis*) [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 5^{h}47′. Aussitôt l'animal se montre assez agité.

5^{h}56′ : le malaise qu'il éprouve augmente beaucoup.

6^{h}31′ : il se couche définitivement sur le flanc.

Le lendemain, l'animal meurt.

8. TANCHE DE PETITE TAILLE [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 5^{h}47′. L'animal ne manifeste aucun malaise apparent, sauf que ses mouvements respiratoires deviennent, par moments, énergiques.

L'expérience cesse à 6^{h}31′, sans que l'animal se soit couché sur le flanc.

Le lendemain, il meurt.

[1] Les animaux soumis à l'expérience étaient soustraits à l'action de l'air par une couche d'huile (voir page 57).

9. Cyprin carassin (*Carassius vulgaris* var. *gibelio*) [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 5h48'. Mêmes résultats que pour l'expérience 7.

10. Tanche de petite taille [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h35'. L'animal ne manifeste aucun malaise apparent; cependant ses mouvements respiratoires deviennent, par moments, énergiques.

5h10' : il se couche momentanément, et à diverses reprises, sur le flanc.

6h5' : il s'y couche définitivement. L'expérience cesse. Le lendemain, l'animal meurt.

11. Loche ou misgurne d'étang (*Cobitis fossilis*) [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h37'. L'animal se comporte comme celui de l'expérience 7. Lorsque, à 6h10', l'expérience cesse, il est visiblement malade; toutefois il n'est pas encore couché sur le flanc. Le lendemain, il meurt.

12. Cyprin carassin [1]. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h38'. Malaise à peine apparent à 6h10'.

Le lendemain, à 9 heures, l'animal est accablé et affaibli : la coloration de sa peau a pâli. Il se rétablit lentement dans l'eau pure; mais trois jours plus tard, sa décoloration est encore nettement marquée. Huit jours après l'expérience, il est tout à fait alerte.

II. — Mélange d'eau désoxygénée et d'eau normale.

13. Truite de grande taille. Température : 10°C. — L'expérience commence à 12h10' ; l'animal se montre immédiatement très agité.

12h36' : il se rapproche de la surface et rejette des bulles d'air.

12h37' : la température de l'eau est montée à 12°C.

[1] Voir la note au bas de la page précédente.

12h31′ : mouvements respiratoires très énergiques; l'animal se rapproche de la surface et vient violemment aspirer l'air.

1h10′ : l'expérience cesse.

L'animal, placé dans l'eau fraîche, reste en vie.

III. — Anhydride carbonique.

14. Écrevisse. Température : 18°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2) [1]. — L'expérience commence à 12h21′.

Bien qu'il soit presque constamment couché sur le dos, l'animal montre encore, à 12h40′, des signes de vie. A 1h41′, il semble mort.

Placé dans l'eau fraîche, il revient à lui et vit encore à 4 heures. Selon toute apparence, il se rétablit complètement.

15. Écrevisse de petite taille. Température : 18°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'animal est placé à 12h55′ dans l'eau intoxiquée. Il se rétablit après la fin de l'expérience, qui est arrêtée à 1h41′. Il est déposé de nouveau dans l'eau fraîche et vit encore à 4 heures.

16. Loche ou misgurne d'étang de grande taille. Température : 12°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 2h39′. L'animal n'est nullement agité.

3h07′ : il reste inerte, hébété, ainsi que se montrent d'autres poissons lorsqu'ils sont définitivement couchés sur le flanc; cependant il conserve sa position normale.

3h39′ : il est déposé dans l'eau fraîche; quelque temps après, il respire énergiquement et fait des mouvements désordonnés, en se couchant parfois sur le dos.

L'animal se rétablit lentement.

17. Loche ou misgurne de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 3h01′. L'animal se montre aussitôt anxieux et agité.

[1] Ou, plus exactement, 1.8411 °/₀₀, c'est-à-dire la quantité d'anhydride carbonique qui, d'après Bunsen, peut être dissoute sous la pression atmosphérique à la température de 18°C.

9. Cyprin carassin (*Carassius vulgaris* var. *gibelio*) 1. Température : 10°C. — Expérience commencée à 5h48′. Mêmes résultats que pour l'expérience 7.

10. Tanche de petite taille 1. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h35′. L'animal ne manifeste aucun malaise apparent; cependant ses mouvements respiratoires deviennent, par moments, énergiques.

5h10′ : il se couche momentanément, et à diverses reprises, sur le flanc.

6h5′ : il s'y couche définitivement. L'expérience cesse. Le lendemain, l'animal meurt.

11. Loche ou misgurne d'étang (*Cobitis fossilis*) 1. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h37′. L'animal se comporte comme celui de l'expérience 7. Lorsque, à 6h10′, l'expérience cesse, il est visiblement malade; toutefois il n'est pas encore couché sur le flanc. Le lendemain, il meurt.

12. Cyprin carassin 1. Température : 10°C. — Expérience commencée à 12h38′. Malaise à peine apparent à 6h10′.

Le lendemain, à 9 heures, l'animal est accablé et affaibli : la coloration de sa peau a pâli. Il se rétablit lentement dans l'eau pure; mais trois jours plus tard, sa décoloration est encore nettement marquée. Huit jours après l'expérience, il est tout à fait alerte.

II. — Mélange d'eau désoxygénée et d'eau normale.

13. Truite de grande taille. Température : 10°C. — L'expérience commence à 12h10′ ; l'animal se montre immédiatement très agité.

12h36′ : il se rapproche de la surface et rejette des bulles d'air.

12h37′ : la température de l'eau est montée à 12°C.

1 Voir la note au bas de la page précédente.

12h31′ : mouvements respiratoires très énergiques; l'animal se rapproche de la surface et vient violemment aspirer l'air.

1h10′ : l'expérience cesse.

L'animal, placé dans l'eau fraîche, reste en vie.

III. — Anhydride carbonique.

14. Écrevisse. Température : 18°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2) [1]. — L'expérience commence à 12h21′.

Bien qu'il soit presque constamment couché sur le dos, l'animal montre encore, à 12h40′, des signes de vie. A 1h41′, il semble mort.

Placé dans l'eau fraîche, il revient à lui et vit encore à 4 heures. Selon toute apparence, il se rétablit complètement.

15. Écrevisse de petite taille. Température : 18°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'animal est placé à 12h55′ dans l'eau intoxiquée. Il se rétablit après la fin de l'expérience, qui est arrêtée à 1h41′. Il est déposé de nouveau dans l'eau fraîche et vit encore à 4 heures.

16. Loche ou misgurne d'étang de grande taille. Température : 12°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 2h39′. L'animal n'est nullement agité.

3h07′ : il reste inerte, hébété, ainsi que se montrent d'autres poissons lorsqu'ils sont définitivement couchés sur le flanc; cependant il conserve sa position normale.

3h39′ : il est déposé dans l'eau fraîche; quelque temps après, il respire énergiquement et fait des mouvements désordonnés, en se couchant parfois sur le dos.

L'animal se rétablit lentement.

17. Loche ou misgurne de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 2 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 3h01′. L'animal se montre aussitôt anxieux et agité.

[1] Ou, plus exactement, 1.8411 °/₀₀, c'est-à-dire la quantité d'anhydride carbonique qui, d'après Bunsen, peut être dissoute sous la pression atmosphérique à la température de 18°C.

3h06' : il reste inerte comme l'individu de l'expérience 16.

3h27' : il se couche définitivement sur le flanc.

3h39' : il est déposé dans l'eau fraîche, où il se rétablit quelques heures plus tard.

Trois jours après le début de l'expérience, il vit encore.

18. LOCHE OU MISGURNE D'ÉTANG DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2) [1]. — L'expérience commence à 4h23'. Mêmes symptômes, mais plus atténués, que dans l'expérience 17.

4h39' : l'animal se couche définitivement sur le flanc.

Il se rétablit rapidement dans l'eau fraîche.

19. ANGUILLE (*Anguilla vulgaris*) DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4h27'.

L'animal s'élève à la surface, sort la tête de l'eau et vient aspirer l'air.

4h41' : il se couche définitivement sur le flanc.

Placé dans l'eau fraîche, il persiste à manifester les symptômes d'une indisposition violente; puis, 30 minutes plus tard, il reprend sa position et son état normaux. Il continue à vivre.

20. TANCHE DE GRANDE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4h32'.

L'animal manifeste un grand malaise.

4h37' : il se couche définitivement sur le flanc.

Placé dans l'eau fraîche, il se rétablit bientôt sans montrer la moindre gêne.

21. TANCHE DE GRANDE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 12h16'.

12h17'30" : l'animal est couché sur le flanc; l'expérience cesse. Il se rétablit dans l'eau courante.

[1] Ou, plus exactement, 0.9928 °/₀₀, c'est-à-dire la moitié de la quantité d'anhydride carbonique que, d'après BUNSEN, sous la pression atmosphérique, l'eau peut dissoudre par litre, à 17° C, pour en être saturée. L'eau qui a servi à ces expériences était un mélange, en parties égales, d'eau de source et d'eau saturée d'anhydride carbonique à 17° C.

22. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 12h10'.

Aussitôt l'animal est anxieux ; il saute régulièrement hors de l'eau et cherche à s'échapper.

12h11'30" : l'animal se couche définitivement sur le flanc ; l'expérience cesse. Il se rétablit complètement dans l'eau courante.

23. DEUX ÉCREVISSES DE TAILLE MOYENNE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 12h18'.

L'un des deux animaux est couché sur le dos à 12h40' ; pourtant il donne encore, à 12h53', des signes de vie certains.

L'expérience cesse à 12h58'. Placés immédiatement dans l'eau fraîche, les deux animaux se rétablissent.

24. ANGUILLE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0.4 et 0.6 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4h7'.

A 4h30', l'animal ne manifeste encore aucun symptôme morbide. A ce moment, la teneur en CO^2 est portée à 0.6 °/₀₀.

5 heures : malaise violent ; l'animal vient aspirer l'air à la surface de l'eau.

Placé dans l'eau fraîche, il se rétablit.

25. ANGUILLE D'UN AN. Température : 12°C. (Concentration : 0.4 et 0.6 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4h16' ; aucun symptôme morbide.

4h30' : la teneur en CO^2 est portée à 0.6 °/₀₀.

4h40' : l'animal manifeste des symptômes morbides.

Placé dans l'eau fraîche, il se rétablit et reste en vie.

26. FRETIN D'ANGUILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0.4 et 0.6 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4h16'. Pas d'action jusqu'à 4h30'. A ce moment, la teneur en CO^2 est portée à 0.6 °/₀₀.

A 4h34', l'animal est déjà malade, inerte.

Placé dans l'eau fraîche, il ne tarde pas à se rétablir.

27. VÉRON LISSE. Température : 12°C. (Concentration :

0.4 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 4ʰ9′. A 4ʰ10′, l'animal manifeste déjà nettement des symptômes morbides.

4ʰ11′ : il se couche définitivement sur le flanc; on le dépose dans l'eau fraîche. Il y conserve encore, pendant plusieurs minutes, sa position sur le flanc; puis il se rétablit peu à peu, et trois jours plus tard, il est encore en vie.

28. Véron lisse. Température : 12°C. (Concentration : 0.2 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 3ʰ58′. A 4ʰ02′ se manifestent des signes bien nets d'indisposition; l'animal respire énergiquement.

4ʰ03′ : il commence à se coucher sur le flanc.

4ʰ04′ : il conserve définitivement cette position.

Placé aussitôt dans l'eau fraîche, il se rétablit très lentement. Trois jours plus tard, il est encore en vie.

29. Truite de grande taille. Température : 8°C. (Concentration : 0.1 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 3ʰ34′. L'animal fait immédiatement des inspirations violentes; il expulse des bulles d'air; il fait, par moments, des mouvements désordonnés et bondit de bas en haut.

3ʰ40′ : il est sur le flanc, puis se redresse de nouveau et nage encore, par moments, d'une façon désordonnée.

3ʰ42′ : il se couche de nouveau sur le flanc et s'y maintient.

3ʰ44′ : il est placé dans l'eau courante et se rétablit aussitôt.

30. Truite de grande taille. Température : 9°C. (Concentration : 0.075 °/₀₀ CO^2.) — L'expérience commence à 2ʰ16′. Les premiers symptômes comme dans l'expérience précédente. Plus tard, l'animal se calme complètement. Il est placé dans l'eau courante à 4ʰ16′, c'est-à-dire 2 heures après le début de l'expérience.

IV. — Chlore.

Industries intéressées; fabriques de chlorure de chaux; blanchisseries, fabriques de papier, de chloroforme, etc.

31. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0.041 °/₀₀.) — L'expérience commence à 12ʰ32′.

A 12h35′, l'animal commence à ouvrir largement ses branchies et à respirer par saccades et deux fois de suite, après chaque intervalle.

12h37′ : il est couché sur le flanc, nage violemment en se plaçant par moments sur le dos et tombe ensuite, épuisé, au fond du vase; puis il bondit vers la surface pour retomber de nouveau au fond. Il y reste couché, remue encore de temps en temps les branchies.

A 12h42′, c'est-à-dire après 10 minutes, il meurt.

32. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0.01 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 4h57′. L'animal fait de violents mouvements d'inspiration. A 5h29′, il monte vers la surface de l'eau. A 6h04′, il est couché sur le flanc. Placé dans l'eau pure, il reste couché. Quatre heures environ après le début de l'expérience, il meurt.

33. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0.005 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 12h30′. L'animal est tranquille. A 12h42′, il fait de violents mouvements d'inspiration.

12h43′ : il vient près de la surface de l'eau, nage d'une façon désordonnée, tantôt couché sur le flanc, tantôt couché sur le dos.

12h45′ : il saute hors de l'eau et retombe, épuisé, au fond du vase. Il y reste couché et respire fortement. A 12h50′, il fait encore un violent mouvement d'inspiration et meurt 20 minutes après le début de l'expérience.

34. TANCHE. Température : 12°C. (Concentration : 0,005 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 4h4′. L'animal se montre immédiatement très agité. A 5h20′, il est sur le flanc.

Placé dans l'eau pure, il reste couché et meurt à 10 heures, c'est-à-dire 6 heures après le début de l'expérience.

35. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 3h15′. L'animal fait aussitôt des mouvements d'inspiration violents.

$3^h38'$: il monte vers la surface de l'eau et expulse des bulles d'air.

$3^h45'$: le nombre des mouvements respiratoires est de 100 à la minute ; l'animal devient très faible.

$3^h59'$: il est sur le flanc ; il pâlit ; sur les flancs, il est jaune. Par moments, il fait des mouvements de natation désordonnés et reste ensuite couché.

$5^h24'$: il meurt 2 heures 9 minutes après le début de l'expérience.

26. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 12°C. (Concentration : 0,001 °/oo de chlore.) — L'expérience commence à $5^h2'$.

L'animal se montre immédiatement fort agité ; il fait de violentes inspirations.

$5^h17'$: un frémissement particulier se manifeste dans toute la longueur du corps ; la respiration devient manifestement plus difficile.

$5^h20'$: le nombre des mouvements respiratoires par minute est de 124, tandis que dans l'eau pure il est, pour une truite de même taille, de 84 seulement, ainsi que me l'apprend une expérience de contrôle.

$5^h36'$: l'animal est sur le flanc.

$6^h5'$: l'animal est si faible qu'il ne bouge pas quand on le touche avec une baguette de verre. Par moments, il ouvre démesurément la bouche, pour la refermer après une très longue pause.

$6^h23'$: il fait des mouvements de natation désordonnés, en restant couché sur le dos ; il se tord sur lui-même et tombe, épuisé, au fond du vase.

$6^h40'$: il meurt, 1 heure 38 minutes après le début de l'expérience.

27. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,001 °/oo de chlore.) — L'expérience commence à $12^h25'$. Tranquille au début, l'animal commence, à $12^h45'$, à faire de violentes inspirations.

$12^h48'$: il est couché sur le dos et, dans cette position, nage

en tous sens, pour retomber bientôt au fond du vase. De temps en temps, il fait de violents mouvements respiratoires, ouvre démesurément son appareil branchial et respire par saccades, en produisant, entre deux intervalles consécutifs, deux mouvements respiratoires successifs et précipités.

$12^h59'$: l'animal meurt 34 minutes après le début de l'expérience.

38. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à $10^h27'$. L'animal fait immédiatement des mouvements d'inspiration violents à la surface de l'eau.

$10^h42'$: il saute hors de l'eau, puis retombe épuisé.

$10^h47'$: il se couche sur le dos. Il est déposé dans l'eau courante et semble tout d'abord se rétablir; mais bientôt il se couche de nouveau sur le dos, nage encore une fois en tournant sur lui-même et saute hors du bassin. On l'y replace aussitôt et il reste couché sur le dos.

$11^h1'$: l'animal meurt 34 minutes après le début de l'expérience.

39. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à $10^h33'$.

L'animal manifeste, au début, les mêmes symptômes que le précédent.

$10^h45'$: il se couche sur le flanc et est aussitôt placé dans l'eau courante, où il tombe au fond du bassin et exécute de profonds mouvements d'inspiration.

$10^h49'$: il nage normalement, mais se replace aussitôt sur le dos. Puis il saute hors de l'eau pour s'enfoncer de nouveau ; il reste couché au fond du bassin.

$11^h7'$: l'animal meurt 34 minutes après le début de l'expérience.

40. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à $5^h2'$. Immédiatement l'animal se montre agité et fait des inspirations violentes.

5^{h}12′ : il est placé dans l'eau courante 10 minutes après le début de l'expérience et s'y rétablit complètement.

41. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 3^{h}15′. Aucun symptôme ne se manifeste. L'animal est enlevé de l'eau intoxiquée à 6^{h}15′. L'expérience a donc duré 3 heures.

42. Saumon de petite taille (*Salmo salar*). Température : 6°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 3^{h}24′. L'animal fait de violents mouvements d'inspiration.

3^{h}45′ : il monte à la surface et sort la tête hors de l'eau.

3^{h}55′ : il se couche définitivement sur le flanc et est placé dans l'eau pure.

5^{h}24′ : l'animal meurt 2 heures après le début de l'expérience.

43. Six truites de toute petite taille. Température : 11°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 3^{h}45′. Les animaux se comportent absolument comme les grandes truites.

L'un d'entre eux meurt à 4^{h}20′; deux autres à 4^{h}40′; un quatrième à 4^{h}45′; un cinquième à 4^{h}48′ et le dernier à 5^{h}0′, c'est-à-dire que 1 $^1/_4$ heure après le début de l'expérience ils sont tous morts.

44. Cinq ombres communs (*Thymallus vulgaris*) et six truites, encore pourvus du sac vitellin. Température : 11°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience, commencée à 4^{h}22′, est cessée à 5^{h}22′, c'est-à-dire qu'elle a duré 1 heure. Les animaux sont alors placés dans l'eau courante. Il n'était pas possible de dire, avec certitude, s'ils étaient morts. En tout cas, ils étaient très affaissés.

6^{h}45′ : les cinq ombres sont à coup sûr morts. Quant aux six truites, elles ne moururent certainement que le lendemain matin.

45. Huit ombres et huit truites de toute petite taille. Température : 11°C. (Concentration : 0,001 de chlore.) —

L'expérience commence à 3h30'. A 3h45', c'est-à-dire 15 minutes après, les animaux sont déposés dans l'eau courante. Tous sont morts à 6h0'.

46. Dix oeufs de truite. Température : 14°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 5h30'. A 6h30', c'est-à-dire 1 heure après, les œufs sont déposés dans l'eau courante. Six jours après tous étaient éclos.

47. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,008 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 11h10'. L'animal respire très précipitamment.

11h30' : il monte à la surface de l'eau.

11h45' : il nage en tous sens, d'une façon désordonnée.

11h47' : l'animal se couche définitivement sur le flanc.

Il est déposé dans l'eau courante et y reste couché sur le dos ; de temps en temps, il nage en tous sens et d'une façon désordonnée.

11h57' : il meurt 47 minutes après le début de l'expérience.

48. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 5h1'. Tranquille au début, l'animal commence, à 5h25', à exécuter des inspirations profondes ; puis il se calme de nouveau complètement. A 7h31', c'est-à-dire 2 1/2 heures après le début de l'expérience, l'animal est retiré de l'eau intoxiquée. Il reste en vie.

49. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ de chlore.) — L'eau employée pour cette expérience est de l'eau distillée, saturée d'air en la fouettant à l'aide d'une verge.

L'expérience commence à 10h29'. Agité au début, l'animal se calme ensuite et se tient absolument tranquille.

11h1' : il nage en tous sens, d'une façon désordonnée, mais il ne tarde pas à se calmer de nouveau.

12h59' : l'animal est retiré de ce milieu et placé dans l'eau courante.

L'expérience a donc duré 2 1/2 heures. Il reste en vie.

50. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 5h5' et les animaux sont replacés dans l'eau courante à 6h5', c'est-à-dire qu'ils ont séjourné 1 heure dans ce milieu.

Trois d'entre eux meurent à 6h40'; un quatrième meurt à 6h45'; le cinquième, à 6h55', et le dernier à 7 heures. Tous sont donc morts 2 heures après le début de l'expérience.

51. SEPT TRUITES ET SEPT OMBRES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 3h54'. A 4h9', c'est-à-dire quinze minutes plus tard, tous les animaux sont déposés dans l'eau courante : ils sont très affaissés. Le lendemain matin à 5 heures, soit 13 heures après le début de l'expérience, tous sont morts.

52. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,0005 à 0,00025 °/₀₀ de chlore.) — (La solution renferme 0,0005 °/₀₀ de chlore : on la renouvelle deux fois à des intervalles de 10 minutes et deux fois à des intervalles de 20 minutes.)

L'expérience commence à 10h29'. Agité au début, l'animal fait ensuite de violents mouvements d'inspiration, puis il redevient plus tranquille.

11h12' : il se rapproche de la surface de l'eau et redevient agité. A 1 heure, c'est-à-dire 2 1/2 heures après le début de l'expérience, il est placé dans l'eau courante.

A 1h30', il se couche sur le dos et meurt à 1h35', c'est-à-dire 3h6' après le début de l'expérience.

53. SEPT TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,00025 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 5h5'. Les animaux sont placés à 6h5' dans l'eau courante : ils sont très affaissés. Ils ont donc séjourné 1 heure dans ce milieu. Le lendemain matin à 6 heures, c'est-à-dire 13 heures après le début de l'expérience, ils sont tous morts.

54. SIX TRUITES ET SIX OMBRES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,00025 °/₀₀ de chlore.) — L'expérience commence à 4h3'. A 4h18', c'est-à-dire 15 mi-

nutes plus tard, les animaux sont déposés dans l'eau courante. Tous survivent.

55. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,0002 °/.. de chlore.) — L'expérience commence à 5h9′. D'abord agité, l'animal se calme ensuite. A 7h39′, c'est-à-dire 2 1/2 heures après le début de l'expérience, il est déposé dans l'eau courante.

56. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,0002 — 0,001 °/.. de chlore.) — (Au début de l'expérience, la solution renferme 0,0002 °/.. de chlore; deux fois, à des intervalles de 10 minutes et deux fois à des intervalles de 20 minutes, on y ajoute la même quantité, de façon qu'elle finit par renfermer 0,001 °/.. de chlore.)

L'expérience commence à 10h30′. L'animal ne montre aucune agitation. A 1 heure, c'est-à-dire, 2 1/2 heures plus tard, il est déposé dans l'eau fraîche, où il reste absolument alerte. Le lendemain matin, environ 15 heures après l'expérience, l'animal est couché sur le dos et meurt le surlendemain soir.

57. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,0001 °/.. de chlore). — L'expérience commence à 5 heures.

Aucun symptôme d'intoxication. L'animal est placé dans l'eau courante à 7h30′, c'est-à-dire que l'expérience a duré 2 1/2 heures.

58. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,00005 °/.. de chlore.) — L'expérience commence à 5 heures. Aucun symptôme d'intoxication. A 7h30′, c'est-à-dire 2 1/2 heures plus tard, l'animal est placé dans l'eau courante.

V. — Anhydride sulfureux.

Industries intéressées : blanchisseries, fabriques de sulfit-cellulose.

59. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,005 °/₀₀ SO^2.) — L'expérience commence à 4h19'. L'animal fait de violents mouvements d'inspiration.

4h21' : le nombre des mouvements respiratoires par minute est de 80; l'animal se calme.

5h19' : 1 heure après le début de l'expérience, l'animal est déposé dans l'eau courante.

60. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,003 °/₀₀ SO^2.) — (L'eau a été, au préalable, légèrement acidulée d'acide chlorhydrique.)

L'expérience commence à 5h14'. L'animal est très agité; il bondit dans l'eau. A 5h16', il est sur le flanc et l'expérience cesse.

61. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ SO^2.) — L'expérience commence à 3h32'. Vers 4h32', on constate 80 mouvements respiratoires par minute.

A 5h30', c'est-à-dire 2 heures après le début de l'expérience, l'animal est enlevé de cè milieu.

62. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ SO^2.) — (L'eau a été, au préalable, légèrement acidulée d'acide chlorhydrique.)

L'expérience commence à 5h35.

A 5h39', l'animal est sur le flanc et on le dépose dans l'eau courante.

63. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀ SO^2.) — (L'eau a été, au préalable, légèrement acidulée d'acide chlorhydrique.)

L'expérience commence à 5h47'.

L'animal nage en tous sens d'une façon désordonnée; il s'approche de la surface et sort la tête hors de l'eau.

6h30' : il est de nouveau complètement tranquille et se place dans la partie inférieure du récipient.

6h47' : il remonte à la surface.

7h30' : il est sur le flanc. On le sort du liquide pour le placer dans l'eau pure. Le lendemain, il est mort.

64. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ SO^2.) — (L'eau a été, au préalable, légèrement acidulée d'acide chlorhydrique.)

L'expérience commence à 5h58'.

L'animal est très agité; il bondit dans l'eau. A 6h1', il est sur le flanc : on le dépose dans l'eau courante.

65. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ SO^2.) — L'expérience commence à 5h0'. A 5h30', on la cesse. Les animaux restent en vie.

66. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,0005 °/₀₀ SO^2.) — (L'eau a été, au préalable, légèrement acidulée d'acide chlorhydrique.)

L'expérience commence à 5h18'.

Les animaux tombent immédiatement au fond du récipient, en exécutant de profonds mouvements respiratoires : ils sont couchés sur le dos et font quelques mouvements de natation désordonnés et en tous sens.

6h25 ; tous sont morts. L'expérience a duré 1h7'.

VI. — Acide chlorhydrique.

Industries intéressées : fabrication des sulfates, régénération du soufre, fabrication du chlorure de chaux, tréfileries, galvanisation, blanchisseries, etc.

67. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6° C. (Concentration : 1 °/₀₀ HCl.). — L'expérience commence à 3 heures. L'animal nage immédiatement en tous sens, en faisant de profondes

inspirations; toutefois, ses mouvements sont lents. Il ouvre largement son appareil branchial.

3h2′ : il est sur le flanc.

3h3′ : il est placé dans l'eau courante et reste couché sur le dos.

3h11′ : il nage de nouveau normalement; mais il se recouche bientôt sur le flanc.

4h40′ : l'animal meurt.

68. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 1 °/₀₀ HCl.) — L'expérience commence à 3h8′. L'animal est agité ; ses mouvements de natation sont, par moments, saccadés et brefs. Puis il reste immobile.

3h48′ : il est couché sur le flanc et est déposé dans l'eau pure.

Il meurt le surlendemain matin, c'est-à-dire environ 30 heures après le début de l'expérience.

69. Truite de grande taille. Température . 6°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ HCl.) — L'expérience commence à 2h55′. Immédiatement, l'animal se met à nager en tous sens et d'une façon désordonnée; il fait de violentes inspirations et s'élance vers la surface de l'eau.

2h57′ : il est sur le flanc.

2h58′ : il se redresse et bondit en tous sens.

2h59′ : il reste couché sur le flanc.

3h0′ : il est placé dans l'eau courante et se rétablit.

70. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ HCl.) — L'expérience commence à 3h22′.

L'animal manifeste les mêmes symptômes que dans l'expérience précédente.

A 3h24′, il est sur le flanc. Déposé dans l'eau courante, il se rétablit immédiatement.

71. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ HCl.) — L'expérience, commencée à 3h28′, donne les mêmes résultats que la précédente. A 3h31′, l'animal est sur le flanc et placé dans l'eau courante.

72. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,1 ‰ HCl.) — L'expérience commence à $11^h50'$. L'animal manifeste les mêmes symptômes que dans l'expérience précédente. A $12^h2'$, il est couché sur le flanc. Placé dans l'eau courante, il se rétablit bientôt.

73. Saumon de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0,1 ‰ HCl.) — L'expérience commence à $3^h38'$. L'animal fait de violents mouvements d'inspiration; il gagne la surface de l'eau.

$3^h40'$: il est couché sur le dos. On le place dans l'eau courante et il se rétablit immédiatement.

74. Truite de petite taille. Température : 6°C (Concentration : 0,05 ‰ HCl.) — L'expérience commence à $11^h51'$. Aucun symptôme. L'animal est retiré de la solution à $12^h21'$, c'est-à-dire après qu'il y a séjourné une $^1/_2$ heure.

VII. — Acide sulfurique.

Industries intéressées : carbonisation, tréfileries, teintureries, fabriques de stéarine, de paraffine, d'appareils électriques, d'accumulateurs, etc.

75. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,5 ‰ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $4^h40'$. Au début, l'animal est agité; puis il devient tout à fait tranquille. A la fin, il reste immobile et apathique : il est manifestement accablé.

A $5^h40'$, il est déposé dans l'eau pure : il se rétablit.

76. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,2 ‰ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $3^h48'$.

$3^h50'$: l'animal est couché sur le dos. Il est immédiatement déposé dans l'eau courante, où il se rétablit rapidement.

77. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,2 ‰ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $3^h15'$. L'animal manifeste les mêmes symptômes que celui de l'expérience 75.

A $4^h15'$, on le place dans l'eau fraîche.

78. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,1°/₀₀ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $2^h35'$.

Immédiatement, l'animal se montre fort agité; il fait de violents mouvements d'inspiration.

$2^h36'$: il gagne la surface de l'eau.

$2^h40'$: il est sur le flanc et y reste couché.

A $12^h42'$, c'est-à-dire après un séjour de 1 heure dans la solution, on l'en retire et on le dépose dans l'eau courante. Il se rétablit.

79. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6° C. (Concentration : H^2SO^4.) — L'expérience commence à $3^h56'$.

L'animal manifeste les mêmes symptômes que celui de l'expérience précédente.

$4^h2'$: il est sur le flanc.

$4^h7'$: il s'élance précipitamment vers la surface de l'eau, mais retombe bientôt au fond du récipient, où il reste couché sur le flanc. A $4^h26'$, c'est-à-dire après une demi-heure de séjour dans la solution, on le dépose dans l'eau courante et il se rétablit immédiatement.

80. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $11^h53'$.

A $11^h55'$, l'animal est sur le flanc. On le place alors dans l'eau courante, où il se rétablit immédiatement.

81. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $2^h45'$.

L'animal ne manifeste aucun symptôme d'intoxication. On ne le retire de la solution que le lendemain matin à $8^h45'$. Il y a donc séjourné 18 heures.

82. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,075 °/₀₀ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $2^h35'$.

A $2^h45'$, l'animal gagne la surface de l'eau, en faisant de fortes inspirations; néanmoins il se calme ensuite, mais il est affaissé.

A $3^h35'$, on le retire de la solution.

83. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,075 °/₀₀ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $3^h15'$.

L'animal ne manifeste aucun symptôme morbide. On ne le retire de la solution que 18 heures après le début de l'expérience.

84. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 2h36'. L'animal présente les mêmes symptômes que celui de l'expérience 78, mais atténués. On le laisse 1 heure dans ce milieu.

85. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,05 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 12h17'. L'animal est agité. A 12h19', il se tient près de la surface de l'eau.

12h40' : il se couche définitivement sur le flanc.

12h47' : on le dépose dans l'eau courante.

86. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. Pas de symptômes morbides. On le retire de la solution après 18 heures.

87. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,025 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. L'animal se comporte comme celui de l'expérience 78. On le retire de la solution après 1 heure de séjour.

88. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,025 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. Pas de symptômes morbides. L'animal n'est retiré qu'après 18 heures.

89. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,01 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. L'animal se comporte comme celui de l'expérience 78. On le retire de la solution 1 heure après qu'on l'y a déposé.

90. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,01 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. Pas de symptômes morbides. Il séjourne 18 heures dans la solution.

91. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,005 °/.. H^2SO^4.) — L'expérience commence à 3h15'. Aucun symptôme d'intoxication. L'animal est enlevé de la solution 1 heure après qu'on l'y a déposé.

92. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,005 $^0/_{00}$ H^2SO^4.) — L'expérience commence à $3^h15'$. Pas de symptômes morbides. Il séjourne 18 heures dans la solution.

VIII. — Acide nitrique.

Industries intéressées : fabriques de dynamite, d'aniline, de poudre, de nitro-cellulose et de celluloïde.

93. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 $^0/_{00}$ HNO^3.) — L'expérience commence à $3^h58'$. Mêmes symptômes qu'avec l'acide chlorhydrique à 0,1 $^0/_{00}$.

$4^h17'$: l'animal est sur le flanc. On le place dans l'eau fraîche et il se rétablit immédiatement.

94. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 $^0/_{00}$ HNO^3.) — L'expérience commence à $4^h16'$. Mêmes symptômes que dans l'expérience précédente.

$4^h50'$: l'animal est sur le flanc. On le place dans l'eau courante et il se rétablit immédiatement.

IX. — Acide oxalique.

Industries intéressées : teintureries et imprimeries de tissus.

95. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 $^0/_{00}$ $H^2C^2O^4$.) — L'expérience commence à $3^h58'$. Au début, l'animal manifeste les mêmes symptômes que ceux qu'il présente dans l'acide chlorhydrique à 0,1 $^0/_{00}$. Ultérieurement, il devient plus calme, mais est affaissé.

A $4^h28'$, c'est-à-dire après une demi-heure de séjour dans la solution, on le dépose dans l'eau courante, où il redevient alerte.

X. — Tanin.

Industries intéressées : tanneries, moulins à tan, teintureries et imprimeries.

96. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/oo.) — L'expérience commence à $7^h17'$. L'animal devient agité.

$7^h21'$: il redevient calme.

$7^h47'$: on le dépose dans l'eau courante. Il meurt le surlendemain dans la matinée, c'est-à-dire après 40 heures environ.

97. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/oo.) — L'expérience commence à $7^h15'$. L'animal est retiré de la solution à $7^h45'$, sans qu'il ait manifesté aucun symptôme d'intoxication.

98. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 °/oo.) — L'expérience commence à $7^h2'$. Pas d'action. L'animal est déposé dans l'eau courante à $8^h2'$.

99. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,1 °/oo.) — L'expérience commence à $7^h2'$. Aucun symptôme. Le lendemain matin, à $8^h2'$, c'est-à-dire 13 heures plus tard, l'animal est retiré de la solution et placé dans l'eau pure.

100. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/oo.) — L'expérience commence à $6^h45'$. Pas d'effet sur le poisson. A $7^h45'$, l'animal est déposé dans l'eau courante.

101. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/oo.) — L'expérience commence à $6^h52'$. Aucun symptôme morbide. Le lendemain matin, à $8^h52'$, soit 14 heures plus tard, l'animal est retiré de la solution et placé dans l'eau pure.

102. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 0,01 °/oo.) — L'expérience commence à $6^h45'$. Aucun symptôme. L'animal est retiré de la solution à $7^h15'$ et sert à l'expérience 96.

XI. — Hydrate calcique.

Industries intéressées : tanneries, blanchisseries, usines à gaz et fabriques qui utilisent les eaux de ces usines à gaz.

(La solution a été préparée avec la quantité d'oxyde calcique nécessaire pour obtenir une solution à 1 °/₀₀ d'hydrate calcique. Mais comme il se produisait un fort précipité de carbonate calcique, la solution, après avoir été filtrée, a été titrée. Elle renfermait alors 0,9 °/₀₀ d'hydrate calcique. Les solutions plus faibles ont été également titrées.)

103. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 16°C. (Concentration : 0,9 °/₀₀ de $Ca(OH)^2$.)— L'expérience commence à 3h26'. L'animal se montre immédiatement très agité ; il fait des inspirations violentes, saute hors de l'eau et tient la bouche ouverte.

3h29' : il est couché sur le dos. A 3h30', c'est-à-dire quatre minutes après le début de l'expérience, il meurt.

104. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 16°C. (Concentration : 0,3 °/₀₀ Ca $(OH)^2$.) — L'expérience commence à 3h10'. L'animal manifeste les mêmes symptômes morbides que celui de l'expérience précédente.

3h14' : il est couché sur le dos.

A 3h17', c'est-à-dire 7 minutes après le début de l'expérience, il meurt.

105. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 16°C. (Concentration : 0,15 °/₀₀ Ca $(OH)^2$.) — L'expérience commence à 6h42'. Mêmes symptômes que dans les deux expériences précédentes.

6h52' : l'animal est sur le flanc. A 6h55', c'est-à-dire 13 minutes après le début de l'expérience, il meurt.

106. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 16°C. (Concentration : 0,07 °/₀₀ Ca $(OH)^2$.) — L'expérience commence à 5h22'. A 5h48', c'est-à-dire 26 minutes plus tard, l'animal meurt.

107. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 16°C. (Concentration : 0,03 °/₀₀ Ca $(OH)^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ30′.

5ʰ14′ : l'animal s'agite violemment; il fait des bonds dans l'eau. Il est déposé dans l'eau courante à 6ʰ30′, c'est-à-dire après avoir séjourné 2 heures dans la solution. Il reste en vie.

XII. — Ammoniaque.

Industries intéressées : usines à gaz et fabriques qui utilisent les eaux de ces usines.

108. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à 10ʰ58′. L'animal reste tout d'abord tranquille, presque sans se mouvoir. Soudain, à 11ʰ8′, une convulsion violente agite le corps tout entier : l'animal se tord ; il écarquille les branchies et se couche immédiatement après sur le flanc. Déposé dans l'eau pure, il y reste couché; ses opercules tremblent. A 11ʰ12′, c'est-à-dire 14 minutes après le début de l'expérience, il meurt.

109. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à 1ʰ50′. L'animal se montre très agité.

2ʰ3′ : il saute de bas en haut.

2ʰ5′ : il nage sur le flanc et reste ainsi couché, errant violemment en tous sens.

2ʰ20′ : il se redresse.

2ʰ26′ : il retombe et a une violente convulsion. Puis il reste immobile, la bouche largement ouverte.

2ʰ31′ : légers spasmes.

2ʰ35′ : l'animal meurt, 45 minutes après le début de l'expérience.

110. SAUMON DE PETITE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à 11 heures L'animal reste absolument tranquille.

$11^h21'$: convulsion violente. L'animal tombe aussitôt sur le dos et écarquille largement les branchies. Puis il meurt, 21 minutes après le début de l'expérience.

111. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à $10^h17'$. L'animal se montre d'abord absolument tranquille.

$11^h0'$: spasmes. Il saute de bas en haut.

$11^h4'$: il se couche sur le dos. Convulsion violente. Il est placé dans l'eau pure et y reste couché. Il meurt 47 minutes après le début de l'expérience.

112. SEPT TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,025 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à $5^h55'$. Les animaux sont d'abord tranquilles.

$6^h20'$: convulsion subite chez quelques-uns d'entre eux.

L'un meurt, à $6^h32'$; quatre autres à $7^h15'$, le sixième à $7^h45'$, et le dernier, à 8 heures. Tous sont donc morts 2 heures après le début de l'expérience.

113. SEPT TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 14°C. (Concentration : 0,025 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à $5^h57'$. Au début, les animaux restent tout à fait tranquilles au fond de l'eau.

$6^h30'$: quelques convulsions.

L'un des individus meurt à $6^h32'$; quatres autres à $7^h15'$; un sixième à $7^h45'$ et le dernier à 8 heures. Tous sont donc morts 2 heures après le commencement de l'expérience.

114. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à $9^h46'$. Aucun symptôme d'intoxication. L'animal est placé dans l'eau courante à $1^h46'$, c'est-à-dire qu'il a séjourné 4 heures dans la solution.

115. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ H^3N.) — L'expérience commence à $4^h47'$. Les animaux restent tranquilles au fond du vase. De temps à autre seulement ils nagent en tous sens d'une façon désordonnée.

Placés à 5^{h}47′ dans l'eau courante, c'est-à-dire après avoir séjourné 1 heure dans la solution, ils restent en vie.

(Pour nous résumer, les poissons qui meurent à la suite d'une intoxication par l'ammoniaque se tordent convulsivement, bondissent çà et là, ouvrent démesurément la bouche et expirent subitement.)

XIII. — Carbonate ammonique.

Industries intéressées : usines à gaz, établissements pour le nettoyage du duvet, curage des égouts.

116. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 3 °/$_{oo}$ de (H^4N) HCO^3.) — L'expérience commence à 1 heure. Aucun symptôme morbide. A 1^{h}30′, c'est-à-dire 30 minutes plus tard, l'animal est déposé dans l'eau courante.

117. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/$_{oo}$ (H^4N) HCO^3.) — L'expérience commence à 12^{h}26′. Aucun symptôme morbide. A 12^{h}56′, c'est-à-dire 30 minutes plus tard, l'animal est déposé dans l'eau courante.

118. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,5 °/$_{oo}$ (H^4N) HCO^3.) — L'expérience commence à 12^{h}21′. Pas de symptôme morbide. A 12^{h}51′, soit 20 minutes plus tard, l'animal est déposé dans l'eau courante.

119. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 0,1 °/$_{oo}$ (H^4N) HCO^3.) — L'expérience commence à 12^{h}19′. Pas de symptôme morbide; 30 minutes plus tard, c'est-à-dire à 12^{h}49′, l'animal est placé dans l'eau courante.

XIV. — Carbonate sodique.

Industries intéressées : établissements de lavage, de foulage et de blanchissage des laines, teintureries et imprimeries de tissus, etc.

120. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ Na^2CO^3 + $10H^2O$.) — L'expérience commence à 6h27'. L'animal se met aussitôt à bondir avec violence dans l'eau et hors de l'eau.

6h29' : il tombe sur le dos.

6h32' : il est placé dans l'eau courante. Il y reste d'abord couché ; puis il se rétablit, en apparence du moins. Le lendemain, à 3 heures de l'après-midi, l'animal est de nouveau sur le dos ; ses nageoires, ses opercules et ses yeux sont injectés de sang. Le troisième jour, au matin, il est trouvé mort.

121. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ Na^2CO^2 + $10H^2O$.) — L'expérience commence à 6h28'. L'animal nage en tous sens, d'une façon désordonnée.

6h30' : il est sur le flanc et s'approche de la surface de l'eau.

6h32' : on le dépose dans l'eau pure, où il ne tarde pas à se rétablir.

122. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 5 °/₀₀ Na^2CO + $10H^2O$.) — L'expérience commence à 6h27'. Mêmes symptômes morbides que dans l'expérience 120. A 6h33', il est sur le flanc. Déposé aussitôt dans l'eau courante, il se rétablit.

123. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 5 °/₀₀ Na^2CO^3 + $10H^2O$.) — L'expérience commence à 6h28'. A 6h30', l'animal est sur le flanc et se place près de la surface de l'eau. A 6h33', il est déposé dans l'eau pure.

124. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. Température : 12°C. (Concentration : 3 °/₀₀ Na^2CO^3 + $10H^2O$.) — L'expérience commence

à 11h49'. L'animal est sur le flanc à 11h54'; puis il se redresse.

11h59' : il vient près de la surface, en faisant de violentes inspirations.

12h4' : il est placé dans l'eau courante, après avoir séjourné 15 minutes dans la solution. Il se rétablit complètement.

125. Truite de grande taille. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $Na^2CO^3 + 10H^2O$.) — L'expérience commence à 6h27'.

7h30' : l'animal fait 74 mouvements respiratoires à la minute. Le seul symptôme morbide que l'on constate, c'est que, pendant la respiration, la bouche n'est pas alternativement ouverte et fermée, mais reste toujours ouverte. Le lendemain matin, à 3h50', c'est-à-dire 9 heures après qu'on l'a placé dans la solution, l'animal y meurt.

126. Truite de taille moyenne. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $Na^2CO^3 + 10H^2O$.) — L'expérience commence à 11h12'.

A 11h15', l'animal devient agité; de temps en temps, il tressaille avec violence et nage anxieusement en tous sens.

A 11h45', il est déposé dans l'eau courante. Il reste en vie.

127. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $Na^2CO^3 + 10H^2O$.) — L'expérience commence à 11h30'.

A 12h0', l'animal, agité, nage en tous sens; il tressaille par moments; puis il redevient tout à fait calme. A 12h20', c'est-à-dire 30 minutes après le début de l'expérience, il est déposé dans l'eau courante. Il reste en vie.

128. Tanche. Température : 6°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $Na^2 CO^3 + 10 H^2O$.) — L'expérience commence à 6h29'.

Aucun symptôme morbide. L'animal est retiré de la solution et placé dans l'eau pure, le lendemain matin à 8h21', c'est-à-dire après 14 heures.

129. Truite de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 0.1 °/₀₀ $Na^2CO^3 + 10 H^2O$.) — L'expérience commence à 11h13'.

Pas de symptômes morbides. Deux heures après, soit à 1h15′, l'animal est placé dans l'eau courante.

XV. — Savon.

Industries intéressées : établissements de lavage et de foulage des laines, fabriques de chapeaux, teintureries, imprimeries, fabriques de laine artificielle.

Du savon dur ordinaire est desséché jusqu'à pesanteur constante et dissous ensuite à raison de 1 gramme par litre d'eau. Il se forme alors un précipité floconneux, dû à la présence de chaux dans l'eau. Dans l'une des expériences (130), le précipité a été laissé ; dans l'autre (131), on a filtré la liqueur, et le liquide filtré a été de nouveau saturé d'air par fouettement.

130. TRUITE DE TAILLE MOYENNE ET SAUMON DE CALIFORNIE. Température : 16°C (Concentration : 1 ‰ de savon desséché [liqueur non filtrée].) — L'expérience commence à 2h54′.

Les deux poissons se montrent très agités.

3h55′ : le saumon est sur le flanc.

4h1′ : la truite est aussi sur le flanc.

Le *saumon*, couché sur le dos, bondit violemment en tous sens ; à 4h24′, c'est-à-dire 1 1/2 heure après le début de l'expérience, il meurt.

A 4h54′, soit 2 heures après le début de l'expérience, la *truite* est déposée dans l'eau fraîche.

131. TRUITE DE TAILLE MOYENNE ET SAUMON DE CALIFORNIE. Température : 16°C. (Concentration : 1 ‰ de savon desséché [liqueur filtrée].) — L'expérience commence à 4h25′.

Pas de symptômes morbides. A 6h25′, les deux poissons sont placés dans l'eau courante.

XVI. — Chlorure manganeux.

Industries intéressées : fabriques de chlorure de chaux.

132. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 5 °/₀₀ $MnCl^2$.) — L'expérience commence à $11^h20'$.

Aucun symptôme morbide. L'animal est retiré de la solution le lendemain matin à $9^h50'$; il y a donc séjourné 22 1/2 heures.

133. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $MnCl^2$.) — L'expérience commence à $4^h58'$.

Immédiatement, l'animal se montre agité.

$5^h52'$: il se rapproche de la surface de l'eau en faisant des mouvements violents d'inspiration; cependant, il redevient tranquille. Le même phénomène se renouvelle à $6^h30'$, puis à $6^h37'$, et il devient de plus en plus fréquent. Toutefois, plus tard, l'animal redevient absolument tranquille. A $9^h58'$, il est déposé dans l'eau courante. Il a donc séjourné 5 heures dans la solution. Il reste en vie.

XVII. — Permanganate potassique.

Industries intéressées : teintureries, imprimeries.

134. ABLETTE (*Alburnus lucidus*). Température : 15°C. (Concentration : 0,021 °/₀₀ $KMnO^4$.) — L'expérience, commencée à $12^h45'$, est cessée à $1^h45'$. A ce moment, le permanganate s'est réduit et la liqueur est décolorée. Deux jours après, l'animal est alerte.

135. ABLETTE. Température : 20°. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $KMnO^4$.) — Commencée à $1^h24'$, l'expérience cesse à $2^h17'30''$. Pas de symptômes morbides. Deux jours plus tard, l'animal est alerte.

136. ROTENGLE. Température : 20°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $KMnO^4$.) — Commencée à 1ʰ18′, l'expérience cesse à 2ʰ18′. Pas de symptômes morbides. Le lendemain, l'animal est alerte.

137. ROTENGLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $KMnO^4$.) — Commencée à 1ʰ17′, l'expérience cesse à 2ʰ17′. Pas de symptômes morbides. Le surlendemain, l'animal est alerte.

138. BROCHET DE GRANDE TAILLE. Température : 15° C. (Concentration : 0,0025 °/₀₀ $KMnO^4$ dans de l'eau désoxygénée par l'ébullition.) — L'expérience, commencée à 12ʰ45′, cesse à 1ʰ15′. Pas de symptômes dignes d'être signalés. Six heures plus tard, l'animal est alerte. Le liquide s'est décoloré.

139. ABLETTE. Température : 16°C. (Concentration : 0,0025 °/₀₀ $KMnO^4$ dans de l'eau distillée par l'ébullition.) — L'expérience commence à 12ʰ45′. La respiration semble plus difficile que dans les expériences 134 et 135.

A 1ʰ45′, l'expérience est cessée, parce que le permanganate est réduit et le liquide décoloré. Le lendemain, le poisson est alerte.

XVIII. — Sulfate ferreux.

Industries intéressées : extraction du cuivre par voie humide, extraction du cuivre des pyrites grillées, des mines de pyrite, usines à cuivre, tréfileries, teintureries, imprimeries.

140. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 5 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à 3ʰ6′. L'animal s'approche de la surface de l'eau, en sautant avec violence et en faisant de profondes inspirations.

3ʰ9′ : il est sur le dos. Placé aussitôt dans l'eau courante, il y reste d'abord couché, mais il ne tarde pas à se rétablir.

141. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence

à 3h34'. L'animal respire par saccades, en exécutant chaque fois des mouvements doubles.

3h40' : il s'approche de la surface en exécutant de violentes inspirations.

3h50' : il se couche momentanément sur le flanc, pour se redresser ensuite, et cela plusieurs fois de suite.

3h57' : il reste définitivement sur le flanc. On le place dans l'eau courante et il ne tarde pas à se rétablir.

142. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à 2h0'. L'animal nage en tous sens d'une façon désordonnée, mais il ne tarde pas à se calmer. Il respire violemment.

2h29' : il s'approche de la surface de l'eau, tombe au fond, puis se relève de nouveau ; il est manifestement malade.

2h55' : on le dépose dans l'eau fraîche, où il se rétablit bientôt. Le lendemain, il semble tout à fait alerte. Quatre jours après, on le trouve mort. (Quand est-il mort ?)

143. TANCHE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à 2h21'. Aucun symptôme morbide. On le laisse dans la solution jusqu'au lendemain matin, à 8h30'. Il y a donc séjourné 18 heures. Puis il est placé dans l'eau pure.

144. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à 3h31'. Mêmes symptômes que l'animal de l'expérience 141.

A 3h55', il est sur le flanc. On le dépose dans l'eau courante et il ne tarde pas à se rétablir.

145. TRUITE DE TAILLE MOYENNE, SAUMON DE CALIFORNIE (*Salmo Quinat*), OMBRE-CHEVALIER (*Salmo Salvelinus*). Température : 17°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) L'expérience commence à 4h49'. Les trois poissons bondissent immédiatement dans l'eau, nagent en tous sens d'une façon désordonnée, et font de violents mouvements d'inspiration.

5h4' : ils expulsent des bulles d'air.

5h9' : l'ombre-chevalier est sur le flanc.

$5^h15'$: le saumon est sur le flanc.

$5^h20'$: l'ombre-chevalier meurt.

$5^h35'$: le saumon meurt.

$5^h55'$: la truite meurt. Ces trois poissons sont donc morts respectivement après 31, 46 et 66 minutes.

146. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à $2^h25'$. L'animal fait immédiatement de violents mouvements d'inspiration.

$6^h40'$: il se tient verticalement dans l'eau, la bouche près de la surface : il aspire violemment l'air et reste dans cette position. Plus tard cependant, il a le ventre en l'air. Il reste ainsi jusqu'au lendemain matin à $6^h30'$. Puis il est retiré de la solution et placé dans l'eau courante.

L'après-midi, c'est-à-dire 24 heures après le début de l'expérience, il meurt.

147. TRUITE DE TAILLE MOYENNE, SAUMON DE CALIFORNIE, OMBRE-CHEVALIER. Température : 17°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $FeSO^4 + 7 H^2O$.) — L'expérience commence à $4^h51'$. Mêmes symptômes que dans l'expérience 145.

L'ombre-chevalier meurt à $7^h0'$, le saumon à $8^h27'$ et la truite à $10^h3'$. Ils sont donc morts respectivement après 2, 3 $^1/_2$ et 5 heures.

148. SEPT TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, SEPT TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET SEPT OMBRES, IDEM. Température : 16°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀. $FeSO^4 + 7H^2O$.) — L'expérience commence à $2^h26'$. Elle cesse le lendemain à 4 heures de l'après-midi, soit 25 heures plus tard. Il s'était formé dans la liqueur un précipité d'hydroxyde ferrique tel qu'il n'était plus possible d'observer les poissons. Cependant, les mouvements exécutés par quelques-uns d'entre eux faisaient supposer que les autres étaient encore en vie. A la fin de l'expérience, lorsque l'on retira les animaux, on constata que les sept truites pourvues du sac vitellin, les sept ombres et deux des toutes petites truites étaient mortes, tandis que les cinq autres truites étaient encore en vie.

149. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, SIX TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET SIX OMBRES, IDEM. Température : 14°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ $FeSO^4 + 7H^2O$.) — L'expérience commence à 6ʰ20′. Elle cesse le lendemain matin à 10ʰ20′ Les animaux ont donc séjourné 16 heures dans la solution. Tous sont restés en vie.

XIX. — Chlorure ferrique.

Industries intéressées : extraction du cuivre des pyrites grillées, fabriques d'objets métalliques, teintureries, imprimeries.

150. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 5 °/₀₀ Fe^2Cl^6.) — L'expérience commence à 3ʰ24′. L'animal nage en tous sens, en faisant de violents mouvements d'inspiration.

3ʰ25′ : il s'approche de la surface de l'eau et expulse des bulles d'air.

3ʰ25′30″ : il bondit.

3ʰ26′ : il est sur le flanc. On le place immédiatement dans l'eau courante et il se rétablit.

151. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/₀₀ Fe^2Cl^6.) — L'expérience commence à 3ʰ30′.

L'animal, agité, nage en tous sens.

3ʰ31′ : il s'approche de la surface de l'eau, en faisant de violentes inspirations.

3ʰ32′ : il saute hors de l'eau.

3ʰ33′ : il est sur le flanc. On le place immédiatement dans l'eau courante et il se rétablit.

152. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Fe^2Cl^6.) — L'expérience commence à 1ʰ50′.

L'animal nage en tous sens d'une façon désordonnée; il bondit vers la surface de l'eau et fait de violents mouvements d'inspiration.

1ʰ52′ : il est sur le flanc.

2h45′ : on le transporte dans l'eau courante, où il se rétablit rapidement. Le lendemain, il vit encore.

153. DEUX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, SIX TRUITES AMÉRICAINES (*Salmo fontinalis*) ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN. (Concentration : 1 °/₀₀ Fe^2Cl^6.) — L'expérience commence à 2h5′.

Les animaux se comportent essentiellement comme dans l'expérience précédente. A 2h06′30″, l'une des deux toutes petites truites est sur le flanc; l'autre, à 2h7′.

A 3 heures, les huit poissons sont placés dans l'eau fraîche; ils se rétablissent aussitôt et tous sont encore vivants le lendemain.

XX. — Alun ferrique.

Industries intéressées : teintureries, imprimeries.

154. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentraction : 10 °/₀₀ $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 4h26′. Aussitôt l'animal fait de violents mouvements d'inspiration et saute, d'une façon désordonnée, au-dessus de la surface de l'eau.

4h28′ ; il est sur le flanc. On le dépose dans l'eau courante, où il reste d'abord couché; puis il se rétablit ultérieurement.

155. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/₀₀ $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 4h35′.

L'animal bondit d'une façon désordonnée.

4h36′ : il est sur le flanc. On le dépose dans l'eau courante.

156. TANCHE. Température : 7°,5C. (Concentration : 1 °/₀₀ $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 4h38′. Pas de symptômes morbides. On le retire de la solution le lendemain matin à 8h38′. Il y a donc séjourné 16 heures.

157. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température 7°5C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 6h2′. L'animal reste assez tranquille.

6h17′ : il est sur le flanc. On le transporte dans l'eau courante.

158. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ $K^2Fe^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 6h25′. Pas de symptômes morbides. L'animal est retiré de la solution et placé dans l'eau courante le lendemain seulement à 8h25′ du matin. Il a donc séjourné 14 heures dans la liqueur intoxiquée.

XXI. — Alun ammoniacal.

Industries intéressées : teintureries et imprimeries de tissus.

159. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 10 °/₀₀ $(H^4N)^2Al^2(SO^4)^4 + 24^2O$.) — L'expérience commence à 4h55′.

4h57′ : l'animal est sur le flanc. Il est déposé dans l'eau courante.

160. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/₀₀ $(H^4N)^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 7h7′. Immédiatement, l'animal se met à nager en tous sens d'une façon désordonnée; il bondit dans l'eau.

5h9′ : il est sur le flanc. On le retire de la solution.

XXII. — Alun potassique.

Industries intéressées : teintureries, fabriques de vernis, imprimeries de tissus, préparation des peaux.

161. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 10 °/₀₀ $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) L'expérience commence à 4h34′. L'animal bondit hors de l'eau et nage en tous sens d'une façon désordonnée.

4h36′ : il est sur le flanc.

4h37′ : on le dépose dans l'eau courante. Il se rétablit.

162. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24HO^2$.) — L'expérience commence à $5^h7'$. L'animal, agité, nage en tous sens; il bondit hors de l'eau.

$5^h9'$: il est sur le flanc. On le dépose dans l'eau courante.

163. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température 7°5C. (Concentration : 1 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — La solution qui a servi à l'expérience précédente ayant été troublée par un précipité blanc laiteux, celle que l'on a employée pour la présente expérience a été filtrée au préalable, afin de s'assurer si le précipité exerçait quelque influence sur le poisson

L'expérience est commencée à $6^h53'$.

$6^h56'$: l'animal est sur le dos. On le retire de la solution.

164. TANCHE. Température : 7°5C. (Concentration : 1 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $5^h31'$. Pas de symptômes morbides. On retire l'animal hors de la solution, le lendemain à $8^h31'$. Il y a donc séjourné 15 heures.

165. TRUITE DE TAILLE MOYENNE. (Concentration : 1 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) L'expérience commence à $5^h4'$ A $5^h10'$, l'animal est sur le flanc. Il reste couché, en faisant des efforts pour respirer; par moments, il se redresse pour retomber de nouveau. A $8^h10'$, c'est-à-dire 3 heures après le début de l'expérience, il meurt.

166. TRUITE DE GRANDE TAILLE. — Température : 7°5C. (Concentration : 0,5 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $5^h27'$. On constate les mêmes phénomènes que dans l'expérience 162. A $5^h30'$, l'animal est sur le flanc. On le transporte dans l'eau courante.

167. TRUITE DE TAILLE MOYENNE, SAUMON DE CALIFORNIE ET OMBRE-CHEVALIER. (Concentration : 0,5 °/.. $K^2Al^2(SO^3)^4 + H^2O$.) — L'expérience commence à $4^h34'$.

Tous les animaux font de violents mouvements d'inspiration et nagent en tous sens d'une façon désordonnée.

$4^h35'$: le saumon est sur le dos.

$4^h36'$: l'ombre-chevalier est sur le dos.

$4^h30'$: la truite est sur le dos.

Ils restent presque constamment couchés au fond du vase.

$5^h18'$: le saumon meurt.

$6^h18'$: l'ombre-chevalier meurt.

La truite est laissée dans la solution jusqu'au lendemain matin à $9^h10'$, c'est-à-dire pendant 16 heures. Puis on la dépose dans l'eau fraîche, où elle meurt le troisième jour.

168. TROIS TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, CINQ TRUITES AMÉRICAINES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN. Température : 16°C. (Concentration : 0,25 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $9^h40'$. Les animaux respirent avec violence. Ils s'approchent parfois de la surface de l'eau.

$4^h40'$: ils sont encore tous vivants 7 heures après le début de l'expérience. Toutefois ils sont affaissés. On les dépose dans l'eau courante : le lendemain, tous sont encore en vie.

169. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7°5C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $5^h46'$. L'animal se couche un instant sur le flanc.

$5^h58'$: il reste agité.

$5^h59'$: il reste couché sur le flanc; on le retire de la solution.

170. TRUITE DE TAILLE MOYENNE ET SAUMON DE CALIFORNIE. Température : 17°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $4^h30'$.

Le saumon meurt à $10^h35'$.

(La truite, qui avait dévoré un ombre-chevalier, le vomit quelques heures plus tard.) La truite meurt le lendemain matin à $8^h10'$, c'est-à-dire 16 heures après le début de l'expérience.

171. SIX TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, SIX TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET SIX OMBRES ÉGALEMENT POURVUS DU SAC VITELLIN. Température : 10°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à $2^h30'$. Le lendemain après-midi, vers 4 heures, c'est-à-dire plus de 24 heures après, on les enlève de la solution. Tous les animaux restent en vie.

172. Trois saumons de toute petite taille, dix saumons encore pourvus du sac vitellin. Température : 16°C. (Concentration : 0,1 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 9h40'. La respiration est vive ; mais à 4h40', les animaux sont encore alertes. Tous sont encore en vie le lendemain.

173. Truite de grande taille. Température : 7°5C. (Concentration : 0,05 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 6h37'. Aucun symptôme morbide. Le lendemain matin, à 8h37', c'est-à-dire 14 heures après le début de l'expérience, l'animal est enlevé de la solution.

174. Sept truites de toute petite taille, sept truites encore pourvues du sac vitellin, trois saumons encore pourvus du sac vitellin, et six ombres également pourvus du sac vitellin. Température : 7°5C. (Concentration : 0,05 °/.. $K^2Al^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 6h37'. Le lendemain matin, à 10h10', c'est-à-dire 15 1/2 heures plus tard, on les enlève de la solution. Tous restent en vie.

XXIII. — Alun chromique.

Industries intéressées : teintureries et imprimeries de tissus.

175. Truite de grande taille. Température : 9°C. (Concentration : 0,2 °/.. $Al^2Cr^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 3h5'. L'animal reste très tranquille jusqu'à 3h35'. A 4h20', aucun symptôme digne d'être signalé ne s'étant encore manifesté, l'animal est déposé dans l'eau fraîche. Il continue à vivre.

176. Truite de grande taille. Température : 9°C. (Concentration : 1 °/.. $Al^2Cr^2(SO^4)^4 + 24H^2O$.) — L'expérience commence à 2h10'. Aussitôt l'animal se montre très agité.

2h11' : il saute hors de l'eau.

2h13' : il tombe sur le flanc ; puis il se redresse.

2h15' : il reste couché sur le flanc, respire violemment et irrégulièrement.

2h20′ : il est déposé dans l'eau fraîche. Il reste, jusqu'à 2h33′, couché sur le flanc. Puis il se rétablit rapidement : huit jours après, il est encore vivant.

XXIV. — Bichromate potassique.

Industries intéressées : teintureries et imprimeries de tissus.

177. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 0,2 °/₀₀ K^2Cr^2O7.) — L'expérience commence à 3h5′. L'animal reste très tranquille jusqu'à 3h35′.

A 3h51′, l'animal montre, par des symptômes manifestes, qu'il est incommodé. Cependant ces symptômes ne s'accentuent pas davantage jusqu'à la fin de l'expérience, c'est-à-dire jusqu'à 4h20′.

178. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 1 °/₀₀ K^2Cr^2O7.) — L'expérience commence à 2h10′. L'animal se comporte essentiellement de la même manière que celui qui a servi à l'expérience 176 avec l'alun chromique. La seule différence à remarquer, c'est que ses mouvements sont plus énergiques. Il éprouve manifestement des sensations douloureuses aux branchies, ce qui s'exprime par des mouvements convulsifs de la bouche ainsi que par des mouvements brusques d'ouverture et de fermeture des opercules.

2h20′ : l'animal est déposé dans l'eau fraîche ; il s'y maintient longtemps couché sur le flanc. Cependant il se rétablit complètement.

Ce traitement n'a pas eu, ultérieurement, de conséquences funestes pour l'animal.

XXV. — Sulfate sodique.

Industries intéressées : teintureries, imprimeries, fabriques de laine et de laine artificielle, foulage des laines.

179. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^2SO^4.) — L'expérience commence à 4h58′. Pas

de symptômes morbides. A 7h58', c'est-à-dire après un séjour de 3 heures dans la solution, l'animal est déposé dans l'eau courante.

XXVI. — Nitrate sodique.

180. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $NaNO^3$.) — L'expérience commence à 1h55'. Aucun symptôme morbide. L'animal vit encore 24 heures après le début de l'expérience.

181. CYPRIN-CARASSIN. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $NaNO^3$.) — L'expérience commence à 2h35'. Même résultat.

182. ANGUILLE DE PETITE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $NaNO^3$.) — L'expérience commence à 2h6'. Même résultat.

183. TANCHE DE PETITE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $NaNO^3$.) — L'expérience commence à 1h55'. Même résultat.

184. VÉRON LISSE. Température : 10°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $NaNO^3$.) — L'expérience commence à 2h35'. Même résultat.

XXVII. — Chlorure sodique.

Industries intéressées : savonneries, mégisseries, potasseries, salines, houillères.

185. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ NaCl.) — L'expérience commence à 5h21'. A 7h20', le nombre des mouvements respiratoires est de 67 à la minute. Le lendemain, à 8h10', c'est-à-dire 15 heures après le début de l'expérience, l'animal est déposé dans l'eau courante.

186. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ NaCl.) — L'expérience commence à 6h45'. Aucun symptôme morbide. Le lendemain matin, à 8h45', c'est-à-dire 14 heures

après le début de l'expérience, l'animal est retiré de la solution.

187. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/.. NaCl.) — L'expérience commence à 10h50'. Pas de symptômes morbides. Le lendemain matin, à 8 heures, c'est-à-dire après un séjour de 21 heures dans la solution, l'animal en est retiré.

188. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/.. NaCl.) — L'expérience commence à midi. D'abord agité, l'animal ne tarde pas à devenir tranquille. Il est retiré le lendemain matin, à 9 heures, de la solution. Il y a donc séjourné 21 heures.

189. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/.. NaCl.) L'expérience commence à 3h50'. D'abord agité, l'animal devient bientôt tranquille. Il est enlevé de la solution le lendemain matin à 11h5' : il y est donc resté 19 heures.

190. CINQ TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, CINQ TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET CINQ OMBRES. Température : 14° C. (Concentration : 10 °/.. NaCl.) — L'expérience commence à 6h15'. Quinze heures et demie après, c'est-à-dire le lendemain matin à 9h45', les animaux sont déposés dans l'eau fraîche. Ils restent en vie.

191. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 5 °/.. NaCl). — L'expérience commence à 5h20'. Pas de symptômes morbides. A 7h20', l'animal présente 57 mouvements respiratoires à la minute. Il est retiré de la solution à 7h20', c'est-à-dire qu'il y a séjourné 2 heures.

192. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6° C. (Concentration 1 °/.. NaCl.) — L'expérience commence à 5h20'. Aucun symptôme morbide. A 7h22', l'animal présente 57 mouvements respiratoires à la minute. Il est retiré de la solution le lendemain à 8h21' du matin : il y a donc séjourné 15 heures.

193. TANCHE. Température : 6° C. (Concentration : 1 °/.. NaCl.) — L'expérience commence à 6h45'. Pas de symptômes morbides. Le lendemain, à 8h45', après y avoir séjourné 14 heures, l'animal est retiré de la solution.

194. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12° C. (Concentration : 0,3 °/oo NaCl.) — L'expérience commence à 11h14'. Pas de symptômes morbides. Après un séjour de 2 heures dans la solution, l'animal en est retiré à 1h15'.

XXVIII. — Chlorure calcique.

Industries intéressées : fabriques de soude à l'ammoniaque, de chlorure de chaux, régénération du soufre, des résidus de la fabrication de la soude, fabriques de colle, fabriques de superphosphates, etc.

195. CINQ OEUFS DE SAUMON ET TROIS OEUFS DE TRUITE AMÉRICAINE. Température : 15°C. (Concentration : 100 °/oo $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 2h8'. Les œufs surnagent d'abord pendant très peu de temps; puis ils s'enfoncent dans la solution. On les y laisse séjourner 5 minutes. A 2h13', on les dépose, en conséquence, dans l'eau fraîche. Quarante à 50 heures plus tard, il en sort des embryons vigoureux, bien portants. Trois jours après leur éclosion, on constate qu'ils sont encore en vie.

196. DEUX GOUJONS (*Gobio vulgaris.*) Température : 20°C. (Concentration : 100 °/oo $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 2 heures.

2h1' et 2h2' : ils sont couchés sur le flanc, le plus petit le premier.

2h4' : ils sont déposés dans l'eau. fraîche. Ils meurent tous deux : le plus petit à 2h7', le plus grand à 2h31'.

197. DEUX GOUJONS (de même taille que les précédents). Température : 12°C. (Concentration : 100 °/oo $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 2h12'.

Ils sont définitivement couchés sur le flanc : l'un à 2h13', l'autre à 2h15. A 2h16', on les dépose dans l'eau fraîche. A 3h11, le premier meurt et à 3h20, le second.

198. DEUX GOUJONS (de même taille que les précédents). Température : 12°C. (Concentration : 100 °/oo $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 3h30'.

L'un d'entre eux est sur le flanc à 3h31' : il est immédiatement transporté dans l'eau fraîche, où il meurt à 4h45'. L'autre est laissé dans la solution; à 3h50', il ne donne plus le moindre signe de vie.

199. Deux ablettes de petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 100 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 2 heures.

Ils sont couchés sur le flanc respectivement à 2h2' et à 2h3'. A 2h4', ils sont déposés dans l'eau fraîche. A 2h25', le plus petit des deux meurt et l'autre à 2h30'.

200. Cinq oeufs de saumon. Température : 15°C. (Concentration : 50 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 2h8'.

Les œufs restent dans la solution jusqu'à 2h18'. Quarante à 50 heures après, il en sort des embryons frétillants. Trois jours plus tard, ils sont encore bien alertes.

201. Cinq saumons encore pourvus du sac vitellin. Température : 16°C. (Concentration : 50 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 3h5'. Aussitôt les animaux se montrent très agités. A 3h15', l'un d'entre eux est à coup sûr mort. A 3h17', pas un des quatre autres ne donne plus le moindre signe de vie.

202. Trois goujons (de tailles différentes). Température : 13°C. (Concentration : 50 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 5h2'.

A 5h7', le plus grand des deux petits est sur le flanc. A 5h8', il en est de même des deux autres. A 5h12', on les dépose dans l'eau fraîche. A 6h3', le plus petit meurt; à 6h11' meurt à son tour le plus grand des deux petits, et à 6h16', le plus grand des trois.

203. Deux goujons et une ablette. Température : 13°C. (Concentration : 50 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 5h13'.

A 5h15', l'ablette est sur le flanc.

A 5h17' et à 5h18', les deux goujons en font autant.

5h18' : ils sont déposés tous trois dans l'eau fraîche. Ils

meurent : l'ablette à 6h4'; les deux goujons respectivement à 6h34' et à 6h43'.

204. Deux épinoches (*Gasterosteus aculeatus*). Température : 13°C. (Concentration : 50 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 5h30'. Les animaux sont sur le flanc, l'un à 5h39', l'autre à 5h40' : ils agitent convulsivement leurs aiguillons.

A 5h55, on les dépose dans l'eau fraîche.

Ils meurent respectivement à 6h14' et à 6h19'.

205. Onze saumons encore pourvus du sac vitellin. Température : 16°C. (Concentration : 25 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 3h30'. Les animaux se montrent aussitôt très agités. A 4h20', l'un d'entre eux est à coup sûr mort. A 4h45', ils sont tous morts.

206. Deux goujons, une ablette et une épinoche. Température : 12°C. (Concentration : 25 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 5h35'. A 6 heures, tous sont sur le flanc; l'épinoche se redresse à plusieurs reprises.

A 6h15', ils sont déposés dans l'eau fraîche.

A 7 heures, l'un des goujons meurt. Le lendemain matin, l'ablette meurt. Les deux survivants semblent encore très alertes le lendemain.

Cette expérience, renouvelée plusieurs fois, a toujours donné les mêmes résultats. Toutefois, on ne peut affirmer d'une façon absolument certaine si l'ablette est plus sensible que le goujon, ou bien si c'est l'inverse qui a lieu; mais il semble que c'est la première hypothèse qui est la plus vraisemblable. L'épinoche est certainement très résistante : sur elle, les variations de température ont aussi moins d'influence. Cependant, comme pour l'ablette et le goujon, la durée de résistance de l'épinoche diminue manifestement lorsque la température augmente.

207. Dix saumons encore pourvus du sac vitellin. Température : 16°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4 heures. Pas de symptôme morbide. A 5 heures,

les animaux sont déposés dans l'eau fraîche. Vingt-quatre heures après, on ne constate pas qu'ils aient souffert de l'expérience.

208. GOUJONS, ABLETTES ET ÉPINOCHES. Température : 12°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — C'est à peine si ces animaux manifestent une légère anxiété, même quand on les laisse pendant 1 heure dans cette solution. Une seule fois, il est arrivé qu'un goujon qui y avait séjourné 1 heure est mort dans l'eau fraîche 3 heures après le début de l'expérience.

Cette expérience, renouvelée à diverses reprises, à des températures plus élevées, a démontré que la température exerce une influence sur la durée de résistance de ces poissons. C'est ainsi que lorsque la solution est faite à 17-20°C, ils sont plus vite couchés sur le flanc.

209. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $5^h21'$.

A $7^h23'$, on compte 50 mouvements respiratoires par minute. L'animal n'est enlevé de la solution que le lendemain matin à $8^h21'$. Il y a donc séjourné 15 heures.

210. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 3 heures. Au début, l'animal est agité et nage en tous sens près de la surface de l'eau. Cependant il se calme bientôt. Le lendemain matin à 8 heures, c'est-à-dire 17 heures après qu'on l'y a placé, il est enlevé de la solution.

211. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à midi. L'animal nage d'une façon désordonnée, en tous sens; en même temps, il fait de violents mouvements d'inspiration. Il se calme par intervalles, pour se remettre ensuite à nager d'une façon désordonnée.

A $3^h2'$, il est couché sur le flanc et se tient ainsi près de la surface de l'eau, la bouche ouverte. Il ferme et ouvre successivement avec violence son appareil branchial.

A $3^h5'$, il est enlevé de la solution et placé dans l'eau

fraîche : il y reste au fond du vase, couché sur le flanc. Le troisième jour, au matin, on le trouve mort.

212. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $10^h50'$. L'animal se comporte d'abord comme au début de l'expérience précédente ; mais il finit par se calmer. Le lendemain matin à 8 heures, c'est-à-dire 21 heures après le début de l'expérience, il est enlevé de la solution et placé dans l'eau pure. Il s'y rétablit en apparence ; mais bientôt il vient respirer vers la surface, puis tombe au fond du vase. Il y reste couché sur le flanc et ne tarde pas à mourir.

213. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 10 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $3^h50'$. Elle provoque les mêmes symptômes morbides que la précédente. Le lendemain, à 8 heures du matin, l'animal est très apathique : il s'élève très lentement dans le vase, étant couché sur le flanc.

A 9 heures, il est à demi couché sur le flanc, au fond du vase. Vers $9^h15'$, il fait, à deux reprises, des mouvements de natation rapides et désordonnés.

A $11^h5'$, il retombe comme mort (après 19 heures) au fond du vase. On le retire de la solution et on le dépose dans l'eau pure, où il reste couché sur le flanc. Il meurt dans l'après-midi. Dans une expérience de contrôle, une tanche est restée 20 heures dans de l'eau pure à 20°C, sans en souffrir le moins du monde.

214. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 5 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $5^h21'$. A $7^h24'$, l'animal présente 40 mouvements respiratoires à la minute. A $7^h25'$, c'est-à-dire après qu'il y a séjourné 2 heures, il est enlevé de la solution.

215. ANGUILLE DE GRANDE TAILLE. Température : 21°C. (Concentration : 5 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $4^h13'$. L'animal, bien alerte, cherche à sauter hors de l'eau ; il vient, à diverses reprises, respirer à la surface en poussant sa tête au dehors. La respiration est pénible et difficile. A $6^h13'$, quand

on le retire de la solution, il est manifestement accablé. Déposé dans l'eau fraîche, il y meurt le lendemain.

216. Silure de grande taille (*Silurus glanis*). Température : 21°C. (Concentration : 5 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ14′. L'animal se montre aussitôt fort agité. A 6 heures, on le dépose dans l'eau pure, où il meurt le lendemain.

217. Rotengle. Température : 21°C. (Concentration : 5 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ32′. L'animal se montre assez agité. La respiration est manifestement pénible. A 6ʰ30′, il est déposé dans l'eau fraîche, où il meurt le lendemain.

218. Anguille de grande taille. Température : 21°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ15′. Les symptômes morbides sont les mêmes que dans l'expérience 215, mais un peu moins accusés. L'animal est retiré de la solution à 6ʰ30′ et déposé dans l'eau fraîche. Il y meurt le lendemain.

219. Deux anguilles d'un an. Température : 10°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 7ʰ47′. L'animal se montre très agité pendant toute la durée de l'expérience.

11ʰ20′ : il est enlevé de la solution.

Il y a donc séjourné 3ʰ33′.

220. Rotengle. Température : 21°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ31′. Pas de symptôme morbide. A 6ʰ30′, l'animal est déposé dans l'eau fraîche. Le lendemain, il est encore en vie.

221. Perche (*Perca fluviatilis*). Température : 21°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à 4ʰ31′. L'animal se couche momentanément sur le flanc, il se montre en outre très affaissé.

5ʰ30′ : il est définitivement sur le flanc. Le lendemain, il meurt.

222. Ablette. Température : 21°C. (Concentration : 2 °/₀₀

$CaCl^2$.) — L'expérience commence à $4^h34'$. Pas de symptôme morbide. L'animal est placé dans l'eau pure à $6^h30'$. Il vit encore deux jours plus tard.

223. Silure de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $8^h35'$. Aucun symptôme morbide.

A $11^h35'$, soit 3 heures après le début de l'expérience, l'animal est retiré de la solution. Il meurt dix jours plus tard, sans qu'il soit certain que sa mort est réellement la conséquence de l'expérience.

224. Tanche de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $7^h27'$. Elle cesse le lendemain à $5^h33'$.

225. Truite de grande taille. Température : 6°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $5^h21'$. A $7^h25'$, on compte 74 mouvements respiratoires à la minute. (L'animal vomit la colonne vertébrale et la nageoire caudale d'un jeune saumon qu'il avait mangé quatre jours auparavant.) On ne le retire de la solution que 15 heures après le début de l'expérience, soit le lendemain matin à $8^h21'$.

226. Véron lisse. Température : 11°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $2^h26'$. L'animal se montre d'abord quelque peu agité; mais bientôt il se calme.

Le lendemain, à $12^h30'$, l'expérience cesse, sans que le véron en ait été incommodé.

227. Anguille de grande taille. Température : 21°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $4^h15'$. A $6^h17'$, l'animal, manifestement accablé, est déposé dans l'eau fraîche, où il meurt le lendemain.

228. Anguille de petite taille. Température : 11°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $2^h14'$. Elle cesse le lendemain à $12^h45'$. L'animal a donc séjourné 22 $1/2$ heures dans la solution. Il reste en vie.

229. Deux anguilles d'un an et fretin d'anguille. Température : 11°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience

commence à $2^h15'$. Pas d'action visible. Elle cesse le lendemain à $12^h14'$. Les animaux restent alertes et vivants.

230. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $6^h45'$. Pas de symptôme morbide. Le lendemain matin, à $8^h45'$, soit 14 heures plus tard, on enlève l'animal hors de la solution.

231. TANCHE. Température : 11°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $1^h55'$. Elle cesse le lendemain à $12^h50'$: l'animal a donc séjourné 23 heures dans la solution. Aucun symptôme morbide. Trois jours plus tard, l'animal est encore vivant.

232. BROCHET. Température : 21°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $4^h40'$. L'animal devient très agité. A $6^h8'$, il est très malade : il saute hors de l'eau. A $6^h30'$, on le dépose dans l'eau fraîche. Le lendemain il est très alerte.

233. TRUITE DE PETITE TAILLE. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $CaCl^2$.) — L'expérience commence à $11^h56'$. Pas de symptôme morbide. L'animal est placé dans l'eau courante après avoir séjourné environ 5 heures dans la solution.

XXIX. — Chlorure magnésique.

Industries intéressées : fabriques d'eaux minérales, salines, potasseries.

234. VÉRON LISSE. Température : 10°C. (Concentration : 2 °/₀₀ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à $7^h28'$. L'animal se montre aussitôt agité.

A $7^h40'$, il se tient verticalement, la tête à la surface de l'eau.

Ce phénomène se renouvelle plusieurs fois ; puis, l'animal se calme vers 8 heures.

L'expérience cesse à $11^h30'$.

235. FRETIN D'ANGUILLE (DEUX INDIVIDUS). Température : 10°C. (Concentration : 2 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 7h39′. Les animaux sont très alertes et ne manifestent aucun symptôme morbide. Ils séjournent dans ce milieu jusqu'à 11h20′, soit pendant 3 1/2 heures. On les en retire.

236. TANCHE DE PETITE TAILLE. Température : 10°C. (Concentration : 2 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 8h50′ et cesse à 12h50′. Aucun symptôme morbide.

237. ANGUILLE DE GRANDE TAILLE. Température : 25°C. (Concentration : 1 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 4h16′. L'animal se montre immédiatement très anxieux ; il cherche à sauter hors de l'eau. A 6h17′, on le dépose dans de l'eau fraîche, où il meurt le lendemain.

238. ROTENGLE. Température : 25°C. (Concentration : 1 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 3h58′.

A 5h50′, l'animal est manifestement affaibli et malade.

A 5h52, il se couche définitivement sur le flanc. On le transporte dans l'eau fraîche. Il meurt le lendemain.

239. TANCHE. Température : 25°C. (Concentration : 1 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 4h35′. Au début, l'animal se montre très anxieux ; puis il devient plus calme.

A 5h30′, il est affaissé et malade.

A 6h35′, on le dépose dans l'eau fraîche. Il meurt le lendemain.

240. ABLETTE. Température : 25°C. (Concentration : 1 ‰ $MgCl^2$.) — L'expérience commence à 4h3′. Vers la fin, c'est-à-dire à 6h3′, l'animal est malade. On le dépose dans l'eau fraîche. Il reste en vie. Quatre jours plus tard, il est absolument alerte.

XXX. — Sulfate magnésique.

Industries intéressées : fabriques d'eaux minérales.

241. Rotengle. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 3h58'. Aussitôt l'animal se montre très agité.

5h33' : il est définitivement couché sur le flanc. On le dépose dans l'eau fraîche. Il meurt le lendemain.

242. Tanche. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 4h35'. L'animal est retiré de la solution à 6h3', sans qu'il paraisse avoir été bien affecté. Le lendemain, il meurt.

243. Ablette. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 4h3' et cesse à 6h3'. Pas de symptôme remarquable. Placé dans l'eau pure, l'animal reste en vie.

244. Tanche de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 1h55'. Aucun symptôme morbide. L'animal vit encore après avoir séjourné 24 heures dans ce milieu.

245. Anguille de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 2h12'. Aucun symptôme morbide. L'animal vit encore le lendemain dans ce milieu.

246. Anguille d'un an et fretin d'anguille. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/.. $MgSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à 2h13'. Aucun symptôme morbide. Les animaux vivent encore le lendemain dans ce milien.

XXXI. — Acide arsénieux.

Industries intéressées : fabriques d'aniline, de couleurs, établissements d'empaillage d'animaux et de préparation d'animaux pour collections.

247. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ As^2O^3.) — L'expérience commence à 4h15'. Pas de symptôme morbide. A 6h45', soit après un séjour de 2 heures dans la solution, l'animal est placé dans l'eau courante.

XXXII. — Arsénite sodique.

Industries intéressées : fabriques d'aniline.

248. CINQ TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, CINQ SAUMONS DE TOUTE PETITE TAILLE ET CINQ TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 1h25'. Les animaux se mettent tout d'abord à nager en tous sens, d'une façon désordonnée; mais ils ne tardent pas à se calmer. Ils ont l'air accablés et malades. De temps en temps ils se tordent convulsivement. Environ 2 heures après le début de l'expérience, ces mouvements convulsifs ne se manifestent plus chez quelques-uns d'entre eux, qui semblent morts. A 4h5', c'est-à-dire après 2 $^1/_2$ heures de séjour dans la solution, tous les animaux sont morts.

249. CINQ TRUITES DE TOUTE TETITE TAILLE, CINQ TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET CINQ SAUMONS ENCORE POURVUS DU SAC VITELLIN. Température : 23°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 1h40'. Les animaux se mettent à nager en tous sens, d'une façon désordonnée. Une demi-heure après le début de l'expérience, ils manifestent des mouvements convulsifs : ils sont extrêmement

affaiblis et affaissés. Après 40 minutes, ils ne donnent plus aucun signe de vie. On les dépose alors dans l'eau fraîche; trois d'entre eux remuent encore; mais cependant ils persistent dans cet état d'asphyxie. Une heure après le début de l'expérience, ils sont morts.

250. CINQ TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE ET CINQ SAUMONS ENCORE POURVUS DU SAC VITELLIN. Température : 12°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 1h38'. Les animaux nagent anxieusement en tous sens; ils respirent violemment. Environ une heure après le début de l'expérience, ils sont manifestement affaissés. A 4h8', on les dépose dans l'eau fraîche. A la soirée, c'est-à-dire 7 heures après le début de l'expérience, ils vivent encore tous. L'observation n'a pas été poussée plus loin.

251. CINQ TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, CINQ TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET CINQ SAUMONS. Température : 23°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 1h45'. Les animaux manifestent les mêmes symptômes que dans l'expérience précédente.

A 3h45', c'est à peine s'ils montrent encore quelque signe de vie. On les dépose dans l'eau fraîche, où ils semblent tous se rétablir. A la soirée, c'est-à-dire 7 heures après le début de l'expérience, deux des truites pourvues du sac vitellin sont tout à fait affaissées et malades, et le lendemain matin ces deux animaux sont trouvés morts.

252. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 4h49'. Pas de symptôme morbide. L'animal n'est retiré de la solution que 17 heures après qu'on l'y a placé.

253. CINQ TRUITES DE TOUTE PETITE TAILLE, CINQ TRUITES ENCORE POURVUES DU SAC VITELLIN ET CINQ SAUMONS ENCORE POURVUS DU SAC VITELLIN. Température : 16°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 11 heures. Au début les animaux sont un peu agités; mais ils se calment bientôt. Toutefois ils respirent avec une grande difficulté et sont très affaissés. A

3 heures, on les place dans l'eau fraîche. Le lendemain matin, les individus pourvus du sac vitelllin sont tous morts. Quant aux cinq truites de toute petite taille, elles ont l'air très alertes et rétablies.

254. Cinq truites de toute petite taille et cinq truites encore pourvues du sac vitellin. Température : 12°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 2h3'. Pas de symptôme morbide. A 4h33', on les dépose dans l'eau fraîche. A la soirée, c'est-à-dire 7 heures après le début de l'expérience, tous les animaux sont alertes, et il en est de même le lendemain matin.

255. Cinq truites américaines de toute petite taille et cinq truites américaines encore pourvues du sac vitellin. Température : 23°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ Na^3AsO^3.) — L'expérience commence à 2h10'. Aucun symptôme morbide. Deux heures et demie plus tard, c'est à-dire à 4h40', tous les animaux sont assez alertes. On les dépose dans l'eau fraîche et ils se maintiennent en vie.

XXXIII. — Arséniate sodique.

Industries intéressées : fabriques d'aniline.

256. Saumon de Californie. Température : 16°C. (Concentration : 5 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 4h27'. L'animal reste absolument tranquille. Après qu'il a séjourné 1 heure dans la solution, soit à 5h27', il est déposé dans l'eau courante. Le lendemain matin, il est trouvé mort.

257. Truite de taille moyenne. Température : 16°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 4h54'. L'animal reste absolument tranquille. Vers 5h50', il a mangé un ombre-chevalier qui était placé avec lui dans le vase. Plus tard, il le vomit.

6h55' : on le retire de la solution, où il a séjourné 2 heures, et on le dépose dans l'eau courante. Le surlendemain matin, on le trouve mort.

258. Cinq truites encore pourvues du sac vitellin et cinq truites de toute petite taille. Température : 12°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 9h5'. Pas de symptôme morbide. A 11h35', c'est-à-dire 2 1/2 heures après avoir été déposés dans la solution, tous les animaux sont encore bien alertes. On les dépose dans l'eau fraîche, où ils vivent encore le jour suivant.

259. Cinq truites de toute petite taille et cinq truites encore pourvues du sac vitellin. Température : 23°C. (Concentration : 1 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 9h10'. Les animaux se comportent comme dans l'expérience précédente. Deux heures après le début de l'expérience, on les place dans l'eau fraîche. Le lendemain, trois truites encore pourvues du sac vitellin et l'un des individus de toute petite taille meurent.

260. Cinq truites de toute petite taille et cinq truites encore pourvues du sac vitellin. Température : 12°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 9h14'. Pas de symptôme morbide. A 11h44', soit après qu'ils ont séjourné 2 1/2 heures dans la solution, les animaux sont déposés dans l'eau fraîche. Le lendemain ils vivent encore tous.

261. Cinq truites de toute petite taille et cinq truites encore pourvues du sac vitellin. Température : 23°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 9h16'. Pas de symptôme morbide. A 11h16', on les dépose dans l'eau fraîche. Même résultat qu'avec l'expérience précédente.

262. Trois truites de toute petite taille et dix truites encore pourvues du sac vitellin. Température : 16°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 11 heures. Pas de symptômes, si ce n'est une accélération des mouvements respiratoires. A 3 heures, c'est-à-dire après un séjour de 4 heures dans la solution, les animaux sont affaissés. On les dépose alors dans l'eau fraîche, où ils se

rétablissent bientôt. Le lendemain on constate la mort de trois des individus encore pourvus du sac vitellin.

263. Cinq truites américaines de toute petite taille et cinq truites américaines encore pourvues du sac vitellin. Température : 12°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 10 heures. Pas de symptôme morbide. A 1 heure, on les dépose dans l'eau fraîche. Les animaux se maintiennent en vie.

264. Cinq truites américaines de toute petite taille et cinq truites américaines encore pourvues du sac vitellin. Température : 23°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀ Na^2HAsO^4 + 12 aq.) — L'expérience commence à 10h5′. Pas de symptôme morbide. A 1h5′, les animaux sont déposés dans l'eau fraîche. Ils continuent à vivre.

XXXIV. — Chlorure mercurique.

Industries intéressées : fabriques d'aniline, mines de mercure.

265. Truite de grande taille. Température : 9°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $HgCl^2$ [la solution se trouble].) — L'expérience commence à 4h17′. Immédiatement l'animal fait de violentes inspirations et se précipite vers la surface de l'eau.

4h35′ : il bondit hors de l'eau.

4h40′ : il se couche sur le flanc; puis il se redresse et nage en tous sens, d'une façon désordonnée.

A 4h42′ : il est sur le dos. On le retire alors de la solution. Il est déposé dans l'eau pure, où il se tord d'une manière effrayante; par moments, il reste tranquille; puis il recommence à bondir çà et là d'une façon désordonnée, en restant toujours couché sur le dos. Il meurt à 5h5′, c'est-à-dire 48 minutes après le début de l'expérience.

266. Tanche. Température : 9°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $HgCl^2$.) — L'expérience commence à 5 heures. A 5h30′, l'animal vient à la surface et sort la tête de l'eau. Il se meut, dans cette position, lentement et en tous sens.

$6^h37'$: il nage sur le flanc. On le dépose alors dans l'eau pure, où il reste couché. Le lendemain matin, il meurt.

267. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 0,05 °/oo $HgCl^2$.) — L'expérience commence à $3^h6'$. L'animal se comporte comme celui de l'expérience 265. A $3^h35'$, il est sur le dos. On le dépose alors dans l'eau pure, où il reste couché. A 4 heures, c'est-à-dire 54 minutes après le début de l'expérience, il meurt.

XXXV. — Sulfate de cuivre.

Industries intéressées : mines de cuivre, établissements de galvanoplastie, fabriques d'objets métalliques.

268. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7,5°C. (Concentration : 1 °/oo $CuSO^4$ + 5 aq.) — L'expérience commence à $3^h51'$. Immédiatement l'animal fait de violents mouvements d'inspiration et il bondit vers la surface de l'eau. A $3^h53'$, il est sur le flanc, et on le dépose aussitôt dans l'eau courante, où il se rétablit.

269. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 7,5°C. (Concentration : 0,1 °/oo $CuSO^4$ + 5 aq.) — L'expérience commence à $4^h5'$. L'animal est sur le flanc à $4^h12'$. On le dépose aussitôt dans l'eau courante, où il se rétablit.

XXXVI. — Sulfate de zinc.

Industries intéressées : établissements de galvanisation, fabriques d'objets métalliques.

270. ROTENGLE. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/oo $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $3^h55'$.

$4^h52'$: l'animal se couche par moments sur le flanc.

$4^h55'$: il se couche sur le flanc d'une façon définitive. On le dépose dans l'eau courante, où il se remet à nager après quel-

ques minutes. Une secrétion muqueuse couvre bientôt toute la surface du corps de l'animal : à $5^h30'$, il meurt.

271. Brochet. Température : 25C°. (Concentration : 1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $3^h56'$.

$4^h1'$: l'animal, très faible, se couche momentanément sur le flanc.

$4^h4'$: il y reste couché d'une façon définitive et respire très difficilement : il est anxieux.

$4^h6'$: il est sur le dos. On le dépose dans l'eau courante : le lendemain il est encore en vie.

272. Tanche. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.)—L'expérience commence à $3^h55'$. A $4^h5'$, l'animal se montre très agité et fort anxieux ; il accomplit de violents mouvements respiratoires et nage en tous sens d'une façon désordonnée.

$4^h20'$: l'animal est très agité. On le retire de la solution à $4^h55'$ et on le dépose dans l'eau pure. Secrétion muqueuse à la surface du corps. Le lendemain il est encore en vie.

273. Tanche. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $1^h56'$. L'animal ne se montre nullement agité et ne manifeste aucun symptôme apparent jusqu'à la fin de l'expérience, à $6^h5'$.

Le lendemain pourtant, à $8^h10'$ du matin, il est trouvé mort.

274. Cyprin carassin. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ ZnSO + 7 aq.) — L'expérience commence à $1^h57'$. Même résultat que la précédente.

275. Anguille de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $2^h46'$. Au début l'animal est agité ; puis il se calme bientôt.

$4^h15'$: il s'approche de la surface de l'eau, nage d'une façon désordonnée ; puis il se calme de nouveau.

$6^h5'$: l'expérience cesse. A ce moment, l'animal est un peu affaissé ; cependant il ne manifeste aucun symptôme morbide marquant.

Le lendemain matin, à $8^h10'$, il est trouvé mort.

276. Véron lisse. Température : 11°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $12^h31'$. L'animal reste assez alerte jusqu'à la fin de l'expérience, à $6^h15'$; il vient cependant, de temps à autre, aspirer l'air à la surface de l'eau. Il semble affaissé, bien qu'il ne manifeste aucun symptôme morbide marquant. Cependant, le lendemain matin, il est trouvé mort.

277. Tanche. Température : 11°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $12^h27'$. Aucun symptôme morbide jusqu'à $6^h15'$. Le lendemain, l'animal est trouvé mort.

278. Tanche. Température : 11°C. (Concentration : 0,25 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $2^h30'$. Aucun symptôme morbide jusqu'à 6 heures. Le lendemain, l'animal meurt.

279. Cyprin carassin. Température : 11°C. (Concentration : 0,25 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $2^h35'$. Aucun symptôme morbide marquant jusqu'à la fin de l'expérience. Le lendemain matin, à $8^h30'$, c'est-à-dire après un séjour de 18 heures dans ce milieu, l'animal est très malade et affaissé : il se couche alors définitivement sur le flanc.

Déposé dans l'eau fraîche, il se rétablit lentement et reste en vie.

280. Tanche. Température : 11°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience commence à $2^h30'$. Aucun symptôme morbide. Le lendemain matin l'animal vit encore. À $2^h30'$, il est déposé dans l'eau fraîche : il paraît un peu affaissé ; mais il reste en vie.

281. Anguille de petite taille. Température : 11°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ $ZnSO^4$ + 7 aq.) — L'expérience, commencée à $2^h35'$, donne les mêmes résultats que la précédente.

XXXVII. — Chlorure stanneux.

Industries intéressées : teintures et imprimeries de tissus.

282. BROCHET. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $SnCl^2$. [Les solutions se troublent par suite de la formation d'un précipité d'acide stannique.]) — L'expérience commence à 3h56'. A 3h59', l'animal se tient à la surface de l'eau. A 4 heures, il se couche définitivement sur le flanc. On le retire immédiatement de la solution et on le dépose dans l'eau courante. Le lendemain matin, il meurt.

283. ROTENGLE. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 3h55'.

3h57' : l'animal se couche sur le flanc pour la première fois.

3h59' : il y reste couché définitivement.

4 heures : on le dépose dans l'eau courante; il se redresse.

4h9' : il est de nouveau sur le flanc,

4h20 : il meurt.

284. PERCHE. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 4h4'. Immédiatement l'animal se montre très anxieux et bondit vers la surface de l'eau.

4h18' : il saute hors de l'eau et se couche momentanément sur le flanc.

4h20' : il est définitivement sur le flanc.

4h22' : on le dépose dans l'eau fraîche.

4h30' : il meurt.

285. TANCHE. Température : 25°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 3h55'. A 4h1', l'animal devient très anxieux.

4h12' : il vient aspirer l'air à la surface de l'eau.

4h25' : il agit de même.

4h35' : il s'agite avec une extrême violence.

A 6 heures, il est déposé dans l'eau fraîche; aussitôt il se

couche sur le flanc et est manifestement malade. Il meurt à 7 heures.

286. Anguille de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 0,5 ‰ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à $2^h30'$. Symptômes identiques à ceux que nous décrivons dans l'expérience suivante.

$2^h50'$: l'animal se couche définitivement sur le flanc.

Placé dans l'eau fraîche, il se rétablit et reste en vie.

287. Tanche. Température : 10°C. (Concentration : 0,5 ‰ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à $12^h26'$. L'animal se montre immédiatement très agité ; il nage anxieusement. Sécrétion muqueuse abondante. Tout le corps du patient devient blanchâtre ; cette coloration est due à un dépôt d'acide stannique précipité. [Ce phénomène s'observait naturellement aussi dans les expériences faites à une température plus élevée (voir plus haut). Toutefois, dans ces expériences, il était moins marqué parce qu'elles étaient de plus courte durée.]

$12^h51'$: l'animal se couche définitivement sur le flanc.

Déposé dans l'eau fraîche, il se redresse lentement ; mais il vit encore le lendemain. L'enduit blanchâtre qui recouvrait la peau est alors à peu près complètement disparu, dissous.

L'animal reste en vie et semble n'avoir pas souffert.

288. Tanche. Température : 10°C. (Concentration : 0,1 ‰ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 1 heure. Aussitôt l'animal est très agité et anxieux.

L'enduit d'acide stannique qui recouvre la peau est beaucoup plus faible que dans les expériences précédentes.

$1^h5'$: il est déposé dans l'eau fraîche avant de s'être couché sur le flanc.

Il semble n'avoir nullement souffert.

289. Anguille de petite taille. Température : 10°C. (Concentration : 0,1 ‰ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à $1^h3'$; elle cesse à $1^h8'$. Mêmes phénomènes que dans l'expérience précédente.

L'animal n'a pas souffert.

290. TANCHE. Température : 10°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 1ʰ7′; elle cesse à 1ʰ17′, sans que l'animal se soit couché sur le flanc.

Pas de symptôme morbide. L'animal n'a nullement souffert.

291. CYPRIN CARASSIN. Température : 10°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 1ʰ09′; elle cesse à 1ʰ19′.

Pas de symptôme morbide. L'animal n'a nullement souffert.

292. ANGUILLE DE PETITE TAILLE, ANGUILLE DE 1 AN, FRETIN D'ANGUILLE. Température : 10°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ $SnCl^2$.) — L'expérience commence à 1ʰ10′; elle cesse à 1ʰ20′.

Pas de symptôme morbide. L'animal n'a nullement souffert.

XXXVIII. — Cyanure potassique.

Industries intéressées : usines à gaz, établissements de photographie, ateliers d'argenture et de dorure.

293. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀ KCN.) — L'expérience commence à 2ʰ8′. L'animal fait de violents mouvements d'inspiration ; il nage en tous sens, d'une façon désordonnée, et ouvre largement la bouche.

2ʰ12′ : il reste affaissé au fond du vase, mais dans sa position naturelle.

2ʰ13′ : il est sur le dos.

2ʰ17′ : il nage en arrière, toujours couché sur le dos, et ouvre démesurément son appareil branchial.

2ʰ20′ : on le dépose dans l'eau courante, où il respire énergiquement.

2ʰ23′ : il expulse des bulles d'air.

2ʰ40′ : il se redresse et se rétablit complètement.

294. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,005 °/₀₀ KCN.) — L'expérience commence à $2^h27'$. Pas de symptôme morbide. La solution, qui n'était au début de l'expérience que de 0,002 °/₀₀, est portée ensuite à 0,005 °/₀₀. Au début, on ne constate aucun symptôme morbide. A $3^h50'$, l'animal, subitement agité, nage en tous sens ; puis il redevient plus tranquille.

$4^h45'$: il sort la tête hors de l'eau.

$5^h47'$: il se couche sur le flanc et reste dans cette position.

$7^h28'$: après un séjour de 5 heures dans la solution, l'animal en est retiré et placé dans l'eau pure, où il se rétablit peu à peu et complètement.

XXXIX. — Sulfo-cyanate ammonique.

Industries intéressées : usines à gaz.

295. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ (H^4N) CNS.) — L'expérience commence à $3^h4'$. Pas de symptôme morbide. A $4^h4'$, soit après un séjour d'une heure dans la solution, l'animal en est retiré et placé dans l'eau courante.

XL. — Ferrocyanure potassique.

Industries intéressées : teintureries, imprimeries.

296. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ $K^4Fe(CN)^6 + 3aq.$) — L'expérience commence à $5^h47'$. Pas de symptôme morbide. Une heure après, soit à $6^h47'$, on dépose l'animal dans l'eau courante.

XLI. — Sulfure sodique.

Industries intéressées : fabrication de la soude d'après Leblanc, tanneries [1].

297. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,101 °/₀₀ Na^2S.) — L'expérience commence à 9 heures. A 10 heures, l'animal vient aspirer l'air à la surface. A 6h45', il est sur le flanc. On le retire de la solution, où il a séjourné 9 3/4 heures. Il est assez fortement décoloré. Il se rétablit bientôt.

298. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 0,115 °/₀₀ Na^2S.) — L'expérience commence à 2h32'. Immédiatement

[1] Je transcris ici les résultats obtenus par L. GRANDEAU à l'aide du sulfure et de l'hyposulfite de calcium :

1. TANCHE. Température : 18°-19°C. (Concentration : 0,0312 °/₀₀ CaS.) — Presque aussitôt l'animal manifeste des symptômes d'asphyxie ; après 56 secondes, il se couche sur le flanc. Du sang mêlé de mucosités sort des branchies.

Deux minutes après le début de l'expérience, l'asphyxie est complète ; l'animal meurt 5 minutes après le début de l'expérience.

2. TANCHE. Température : 18°-19°C. (Concentration : 0,016-0,032-0,039 °/₀₀ CaS.) — Au début de l'expérience, la concentration est de 0,016 °/₀₀ ; elle est portée ensuite à 0,032 ; puis à 0,039 ; 53 minutes après le début de l'expérience, l'animal est déposé dans de l'eau fraiche. — Le nombre des mouvements respiratoires diminue progressivement au fur et à mesure que la concentration de la solution de CaS augmente. Dans la plus faible solution déjà, l'animal manifeste des symptômes d'asphyxie. L'asphyxie devient complète dans la solution la plus concentrée. Durée de l'expérience : 53 minutes. Déposé alors dans l'eau fraiche, l'animal se rétablit complètement.

3. TANCHE. Température : 18°-19°C. (Concentration : 5 °/₀₀ d'hyposulfite de calcium.) — Le nombre des mouvements respiratoires à la minute tombe de 78 à 60. L'animal se décolore, ne se meut plus et semble hyposténié. L'expérience est prolongée pendant 3 heures 9 minutes. Placé dans l'eau fraiche, l'animal se rétablit ; 36 heures plus tard, sa coloration est redevenue normale.

l'animal se montre agité. A 2^h^40′, il vient aspirer l'air à la surface ; sa peau se décolore à vue d'œil.

3^h^52′ : il est sur le flanc. On le retire de la solution et il se redresse lentement dans l'eau pure. A la fin de l'expérience, la solution ne renfermait plus que 0,081 °/₀₀ de Na^2S. Les jours suivants, l'animal semblait bien portant ; cependant il est mort 6 jours plus tard.

299. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,0505 °/₀₀ Na^2S.) — L'expérience commence à 9^h^2′. A 10 heures, l'animal vient aspirer l'air à la surface. Puis il redevient tranquille. A 7^h^2′, c'est-à-dire après un séjour de 10 heures dans la solution, on l'en retire.

300. TANCHE. Température : 20°C. (Concentration : 0,0526 °/₀₀ Na^2S.) — L'expérience commence à 1^h^30′. L'animal se montre aussitôt agité.

1^h^35′ : il vient à la surface ; de temps en temps, il fait des soubresauts et exécute de violents mouvements d'inspiration.

2^h^20′ : il vient à la surface, expulse des bulles d'air à diverses reprises et sa peau se décolore vivement.

3^h^56′ : il est sur le flanc. On le sort de la solution et on le dépose dans l'eau fraîche, où il se rétablit au bout d'un certain temps. A la fin de l'expérience, la solution ne renfermait plus que 0,0303 °/₀₀ de Na^2S.

XLII. — Sulfide hydrique.

Industries intéressées : fabriques d'amidon et de colle, régénération du soufre, des résidus de la fabrication de la soude.

301. TANCHE. Température : 9°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5^h^54′. L'animal, agité, fait de violents mouvements d'inspiration et se tient près de la surface de l'eau.

6^h^5′ : il est sur le flanc. On le retire de la solution et on le dépose dans l'eau pure, où il ne tarde pas à se rétablir. Huit jours plus tard, il mourait.

302. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ1′. L'animal se montre très agité ; il nage en tous sens d'une façon désordonnée et bondit de bas en haut dans l'eau.

5ʰ6′ : il est sur le dos.

5ʰ25′ : il meurt 24 minutes après le début de l'expérience.

303. TANCHE. Température : 9°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀.) — L'expérience commence à 3ʰ55′. Immédiatement, l'animal se montre très agité. A 4ʰ2′, il vient à la surface et sort la tête hors de l'eau ; puis il regagne le fond du vase et redevient absolument tranquille.

A 6ʰ53′, c'est-à-dire 3 heures après le début de l'expérience, l'animal est enlevé de la solution et placé dans l'eau pure. A ce moment, la solution ne colore plus le papier à l'acétate de plomb. Huit jours plus tard, l'animal mourait.

304. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 9°C. (Concentration : 0,001 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ33′. Immédiatement, l'animal se montre très agité ; il fait de violentes inspirations. Puis il redevient plus tranquille. A 5ʰ48′, il est couché sur le dos. On le dépose dans l'eau courante.

XLIII. — Sulfide carbonique.

Le sulfide carbonique peut se rencontrer dans les vignobles, où on l'emploie pour détruire certains parasites de la vigne.

305. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 0,5 °/₀₀ [2ᵍʳ,5 suspendus dans 5 litres d'eau].) — L'expérience commence à 3ʰ27′. L'animal, agité, nage en tous sens.

3ʰ32′ : il vient à la surface aspirer l'air.

3ʰ34′ : il est sur le dos. On le retire de la solution et on le dépose dans l'eau courante, où il reste d'abord couché, puis il se redresse ; cependant, dans l'après-dîner du lendemain, il se recouche sur le dos. Le surlendemain, à midi, il mourait.

XLIV. — Acide phénique.

Industries intéressées : usines à gaz et à produits de goudron, désinfection des habitations.

306. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ25′. L'animal se met à nager en tous sens d'une façon désordonnée.

5ʰ27′ : il est sur le flanc.

5ʰ31′ : on le dépose dans l'eau courante.

307. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,05 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ44′.

5ʰ47′ : l'animal est agité ; il nage en arrière dans tous les sens. Il tremble violemment, comme s'il se secouait, et vient à la surface.

5ʰ53′ : il est sur le flanc ; il a des spasmes et roule les yeux.

6ʰ44′ : on l'enlève de la solution. Il est porté dans l'eau pure, où il meurt le lendemain matin à 8 heures, c'est-à-dire 15 heures après le début de l'expérience.

308. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ21′.

5ʰ26′ : l'animal, agité, nage en tous sens comme s'il était furieux. Puis il redevient plus calme.

5ʰ44′ : il est sur le flanc. On le retire aussitôt de cette solution et on le dépose dans l'eau courante.

309. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,01 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ44′. Pas de symptôme morbide. On laisse l'animal 15 heures dans la solution, jusqu'au lendemain matin, à 8ʰ45′ ; puis on le dépose dans l'eau fraîche.

310. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 6°C. (Concentration : 0,005 °/₀₀.) — L'expérience commence à 5ʰ21′.

5ʰ36′ : l'animal est agité. A 6ʰ21′, on le dépose dans l'eau courante.

311. TANCHE. Température : 6°C. (Concentration : 0,005 °/₀₀.) L'expérience commence à $5^h44'$. Pas de symptôme morbide. On retire l'animal hors de la solution, le lendemain matin, à $8^h45'$, soit 15 heures après qu'on l'y a placé.

XLV. — Goudron.

Industries intéressées : usines à gaz, fabriques de goudron.

312. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 10 °/₀₀ [50 grammes de goudron sont dissous le mieux possible dans 5 litres d'eau].) — L'expérience commence à $2^h42'$. L'animal se montre agité.

$2^h53'$: il nage, couché sur le flanc, et sort la tête hors de l'eau.

$2^h58'$: il est sur le dos et se meut ainsi en tous sens.

$3^h10'$: on le sort de la solution et on le dépose dans l'eau fraîche. Il y reste d'abord couché sur le dos; vers 4 heures, il se rétablit et se trouve débarrassé du goudron qui adhérait à ses nageoires, à ses branchies, etc.

313. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,2 °/₀₀ [1 gramme de goudron complètement dissous dans 5 litres d'eau].) — L'expérience commence à 3 heures. L'animal reste d'abord tranquille. Plusieurs heures après, il vient à la surface et reste obliquement placé, la tête étant hors de l'eau. Par moments, il fait de violents mouvements d'inspiration. Le lendemain matin, il se trouve encore dans la même position, qu'il conserve pendant toute la journée. Il est très accablé. On le retire de ce milieu à $7^h15'$ du soir, c'est-à-dire 28 heures après le début de l'expérience.

XLVI. — Alcool méthylique.

Industries intéressées : fabriques d'alcools, fabriques d'éther, de vinaigre, etc.

214. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ CH^3 [OH].) - L'expérience commence à 5h20′. Pas de symptôme morbide. Deux heures plus tard, à 7h20′, l'animal est enlevé de la solution.

XLVII. — Alcool éthylique.

Industries intéressées : fabriques d'alcools, fabriques d'éther, teintureries, imprimeries de tissus, utilisation des marcs de raisin et des levures; fabriques de vinaigre, etc.

215. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ C^2H^5[OH].) — L'expérience commence à 6h1′. Pas de symptôme morbide. Deux heures plus tard, à 8h1′, l'animal est retiré de la solution.

XLVIII. — Alcool amylique.

Industries intéressées : fabriques d'alcools, fabriques d'éther, teintureries, imprimeries.

216. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ C^5H^{11} [OH].) — L'expérience commence à 5h37′. L'animal reste complètement tranquille en un endroit du vase. Subitement, à 5h40′, il se couche sur le flanc. On le porte dans l'eau courante, où il ne tarde pas à se rétablir.

217. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 1 °/₀₀ C^5H^{11} [OH].) — L'expérience commence à 5h43′. L'animal nage en tous sens, en se tordant; puis il reste tranquille, dans une position verticale, la tête en bas. A 5h48′, il est sur le flanc. On le dépose dans l'eau fraîche, où il ne tarde pas à se rétablir.

218. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 0,1 °/₀₀ C^5H^{11} (OH) [odeur nette de mauvaise eau-de-vie].) — L'expérience commence à $5^h32'$. Pas de symptôme morbide. Quatorze heures plus tard, c'est-à-dire le lendemain matin, à $7^h32'$, on retire l'animal de cette solution.

XLIX. — Glycérine.

Industries intéressées : savonneries, imprimeries.

219. TANCHE. Température : 8°C. (Concentration : 10 °/₀₀.) — L'expérience commence à $5^h40'$. Pas de symptôme morbide. Le lendemain matin à $9^h45'$, soit 16 heures après qu'on l'y a placé, on retire l'animal hors de la solution.

L. — Pétrole.

Industries intéressées : ateliers où l'on emploie le pétrole pour dégraisser les machines.

220. TRUITE DE GRANDE TAILLE. Température : 8°C. (Cinq litres d'eau étaient complètement recouverts de pétrole purifié.) — L'expérience commence à $3^h7'$. Pas de symptôme morbide. A $7^h7'$, c'est-à-dire après qu'il a séjourné 4 heures dans ce milieu, on en retire l'animal.

221. TANCHE. Température : 8°C. — L'expérience commence à $2^h25'$. Pas de symptôme morbide. Vingt heures plus tard, soit le lendemain matin à $10^h25'$, on retire l'animal de ce milieu.

LI. — Huile d'olive.

222. TANCHE. Température : 8°C. (Cinq litres d'eau sont complètement recouverts d'une couche d'huile d'olive.) — L'expérience commence à $2^h25'$. Pas de symptôme morbide. Le lendemain matin, à $10^h25'$, soit 20 heures après qu'on l'y a placé, on retire l'animal hors de ce milieu.

Documents B.

Expériences faites sur des œufs de truite fécondés dans des eaux intoxiquées, en vue de déterminer l'influence qu'exercent ces eaux sur la reproduction [1].

Le Dr L. Schwab, assistant de la station expérimentale d'Alsace-Lorraine, familiarisé depuis son enfance avec les manipulations que nécessite la pisciculture artificielle, recueillit les œufs d'un certain nombre de mes truites à maturité sexuelle et les plaça, par groupes de 100 à 150, dans des solutions de diverses substances. Aussitôt après les y avoir déposés, il cherchait à féconder chacun de ces groupes à l'aide du sperme d'un mâle différent. Après les y avoir laissé séjourner pendant 15 minutes, il les lavait à l'eau, puis les transportait aussitôt dans un appareil à incubation (auge de Californie).

L'expérience de contrôle, faite avec l'eau pure, a donné un résultat peu satisfaisant, en ce sens que 51,5 °/o seulement des œufs employés ont été fécondés ou, plutôt, ont fourni des embryons.

Le tableau I ci-après indique les résultats de cette première expérience.

Celte expérience, ainsi pratiquée, ne me paraît pas suffisamment probante. Tout d'abord, il n'est pas possible que l'on tire des conclusions générales d'une recherche unique. Ensuite, on s'est servi d'un sperme différent pour chacun des termes de l'expérience, ce qui me paraît défectueux. En effet, il n'est pas impossible que le sperme de l'un ou l'autre des mâles employés ne fût impropre ou moins propre à la fécondation que celui d'un autre, dont on s'est servi pour un des autres termes [2].

[1] A mon avis, si j'avais introduit les expériences suivantes parmi les DOCUMENTS *A*, l'aperçu général de mon travail en eût souffert. Les résultats de ces recherches ont cependant été exposés en même temps que ceux fournis par les expériences relatées dans les DOCUMENTS *A*.

[2] Dans la nature, chez la truite du moins, les œufs, au moment de la ponte, reçoivent le sperme de plusieurs mâles.

Ces considérations m'ont déterminé à procéder à une seconde expérience, organisée d'une autre manière.

Tableau I.

Numéro d'ordre.	NATURE DE LA SUBSTANCE TOXIQUE.	Concentration °/₀₀.	Nombre des œufs employés.	Nombre des œufs non fécondés.	Nombre des œufs fécondés.	Proportion des œufs fécondés °/₀.
1	Expérience de contrôle (œufs fécondés dans l'eau ordinaire).	»	165	80	85	51,5
2	Sulfate de cuivre	0,1	110	100	10	9,1
3	Sulfate ferreux	0,1	124	74	50	40,3
4	Alun potassique.	0,1	115	114	1	0,9
5	Carbonate sodique	0,1	146	128	18	12,3
6	Chlorure ammonique	0,1	129	77	52	40,3
7	Chlorure ammonique	1,0	119	117	2	1,7

Dans une très petite quantité d'eau, je mélange rapidement le sperme de plusieurs poissons. D'autre part, j'expulse artificiellement de la cavité du corps d'une femelle à maturité sexuelle, différents groupes d'œufs. A l'aide du sperme mélangé, je féconde ensuite chacun de ces groupes, en opérant au sein des diverses solutions dont il s'agit d'apprécier les effets sur la fécondation.

Dans la première expérience, les œufs, après avoir été fécondés au sein de l'eau intoxiquée et ensuite lavés à l'eau pure, étaient placés dans de petites auges, dont le treillis métallique avait été enduit d'une couche de vernis à base de fer. Il en était résulté qu'un certain nombre d'entre eux présentaient des taches de rouille. Pour la seconde expérience, j'avais eu l'intention de me servir de petites auges en zinc perforé.

Malheureusement, je ne pus les obtenir en temps utile, de sorte que, ne pouvant attendre plus longtemps, je me servis d'auges en zinc, dont le fond était constitué par de la gaze.

La gaze n'avait sans doute pas été lavée avec assez de soin; peut-être y était-il resté des traces d'empois. Toujours est-il qu'elle ne tarda pas à se couvrir de moisissures, dont la présence ne s'était pas manifestée dans la première expérience.

J'échouai donc complètement dans ma tentative.

Je me dispenserai, par conséquent, d'entrer ici dans les détails des résultats que m'a fournis cette seconde recherche. Je crois cependant devoir mentionner que : 1° des 150 œufs soumis à l'action du sperme dans de l'acide sulfurique à 5 °/₀₀, 3 furent fécondés ; 2° des 150 œufs soumis à l'action du sperme dans le carbonate ammonique à 1 °/₀₀, 5 furent fécondés; 3° des 150 œufs soumis à l'action du sperme dans l'alun potassique à 1 °/₀₀, 4 furent fécondés ; 4° des 150 œufs soumis à l'action du sperme dans le carbonate sodique à 2 °/₀₀, 1 fut fécondé; enfin, 5° tous les œufs fécondés ont éclos et ont fourni des individus qui, lorsqu'ils étaient encore pourvus de leur sac vitellin, semblaient bien portants.

S'il est vrai que des expériences que nous venons de signaler il n'est pas permis de rien conclure concernant le degré de nocuité des différentes substances employées, sur la fécondation, attendu que l'expérience de contrôle n'a pas réussi; cependant, étant données les idées généralement admises sur l'action qu'exercent les acides sur le pouvoir vital des spermatozoïdes, il me paraît digne de remarquer que les trois individus provenant d'œufs fécondés dans l'acide sulfurique étaient bien vivants et capables de se développer.

Ces deux expériences ne m'ayant pas paru suffisamment démonstratives, j'avais le projet de les recommencer. Malheureusement, je n'ai pu me procurer les matériaux nécessaires, c'est-à-dire des truites mâles et femelles à maturité sexuelle. J'ajouterai même que si j'eusse pu me les procurer, j'aurais encore hésité à avoir une confiance absolue dans les résultats éventuellement obtenus, parce que je ne suis pas assez expéri-

menté dans les manipulations qu'exige la fécondation artifi cielle et que je ne pouvais plus avoir recours à mon collaborateur, le Dr L. Schwab ayant, sur ces entrefaites, quitté la station expérimentale d'Alsace-Lorraine.

J'ai cependant voulu tenter encore de nouvelles recherches en m'assurant la collaboration d'un pisciculteur expérimenté; mais ces tentatives ont également échoué, en partie par absence de matériaux.

M. le Profr H. Nitsche, de Tharandt, bien connu dans le royaume de Saxe comme parfaitement au courant des manipulations de la pisciculture, a bien voulu répéter avec moi mes expériences de fécondation au sein d'eaux intoxiquées. Pendant un séjour que j'ai fait chez lui, nous avons entrepris une nouvelle série de recherches à ce sujet.

Comme cela s'était pratiqué dans la première expérience dont j'ai parlé, chaque groupe d'œufs a été fécondé à l'aide du sperme frais d'un poisson distinct. Les œufs, expulsés par compression de truites à maturité sexuelle, étaient placés dans 100 centimètres cubes d'eau intoxiquée et immédiatement arrosés de sperme. Après l'avoir laissé agir pendant dix minutes, cette eau chargée de spermatozoïdes était enlevée et remplacée à diverses reprises par de l'eau fraîche. Puis, immédiatement après, les œufs étaient déposés dans une auge à éclosion, dans laquelle ils reposaient sur des châssis en zinc perforé, entre des morceaux de flanelle. Ils étaient ainsi exposés dans un courant d'eau de ruisseau. Tous les deux jours, on enlevait les œufs morts. A un moment où les survivants étaient déjà bien avancés dans leur développement, ils furent transportés dans de petites caisses formées d'un treillis métallique, que l'on déposa dans une auge d'Eckhardt, construite sur le principe de l'auge de Californie. Ce changement des conditions physiologiques eut pour conséquence une augmentation notable de la mortalité. D'après les renseignements qu'a eu l'obligeance de me fournir M. le Profr Nitsche, j'ai enregistré les pertes successives, par périodes de onze jours chacune. J'ai adopté cette répartition, parce que c'est le

111me jour après la fécondation que les œufs ont été portés dans le nouvel appareil à incubation. J'ai donc réparti le temps pendant lequel les œufs sont restés dans le premier appareil, en 10 périodes de 11 jours, et l'expérience a duré en tout 132 jours, du 3 novembre au 15 mars. La température de l'eau a varié pendant les 66 premiers jours entre + 8° et + 0°,66C ; pendant cette période, la moyenne de la température a donc été de + 2°,35C.

Le tableau suivant (tableau II, p. 178) montre les résultats de cette expérience.

De ce tableau, il ressort que les acides seuls exercent une action nuisible *immédiate*. Toutefois leur action varie, ainsi que le montrent les observations des vingt-deux premiers jours comprenant les deux premières périodes :

N° d'ordre.	Nature de la substance toxique.	Degré de concentration °/₀₀.	De 100 œufs, il en était mort après 1 jour.	3 jours.	5 jours.	7 jours.	9 jours.	11 jours.	13 jours.	15 jours.	17 jours.	19 jours.	22 jours.	25 jours.	35 jours.
1	Acide sulfurique . .	0,5	45	53	53	65	83	91	96	97	98	98	99	100	—
2	Acide chlorhydrique.	1,0	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	100	—
3	Acide chlorhydrique.	0,5	12	12	12	12	20	27	36	46	50	59	70	—	100

En raison de l'influence pernicieuse qu'a eue le changement d'appareil à incubation, je pense qu'il est nécessaire de considérer l'expérience comme terminée à la fin de la 10me période de onze jours.

Dans le tableau II, nous avons indiqué par un trait vertical plus large le moment où a été opéré ce changement. Les chiffres placés à la gauche de ce trait sont donc seuls importants; ils indiquent les différents nombres d'œufs morts avant le jour (111me) où a été opéré le changement d'appareil.

T.

Numéro d'ordre.	Nombre des œufs de truite observés.	NATURE DE LA SUBSTANCE TOXIQUE.	Degré de concentration ‰.	DE CENT ŒUFS, IL E[illegible]					
				1 période de onze jours.	2 périodes de onze jours.	3 périodes de onze jours.	4 périodes de onze jours.	5 périodes de onze jours.	6 périodes de onze jours.
1	110	Acide sulfurique	0,5	91	99	100	»	»	»
2	158	Acide chlorhydrique	1,0	99	99	100	»	»	»
3	136	Acide chlorhydrique	0,5	27	70	97	100	»	»
4	134	Carbonate sodique	2,0	2	2	13	50	54	58
5	96	Carbonate sodique	1,0	»	»	5	13	13	13
6	69	Carbonate ammonique . . .	1,0	»	»	4	6	10	17
7	143	Alun potassique	1,0	»	»	3	30	32	32
8	149	Alun potassique	0,1	»	»	3	8	10	10
9	321	Sulfate ferreux.	1,0	»	1	3	40	43	44
10	221	Sulfate ferreux.	0,1	»	»	8	9	10	1[illegible]
11	197	Sulfate de cuivre	0,1	»	»	1	1	2	[illegible]
12	336	OEufs de contrôle (eau pure).	»	»	»	2	2	3	[illegible]

…r II.

…ANT MORT APRÈS						
… de onze jours.	8 périodes de onze jours.	9 périodes de onze jours.	10 périodes de onze jours.	11 périodes de onze jours.	12 périodes de onze jours.	*Observations.*
»	»	»	»	»	»	Le commencement de la onzième période coïncide avec la date du changement d'appareil à éclosion, pour tous les œufs.
»	»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	»	*Au trentième jour, trois œufs de chaque sorte ont été recueillis et étudiés. Ils ont donné les résultats suivants :*
[illegible]	63	64	64	71	84	Tous les trois ont été fécondés, mais ils sont moins avancés dans leur développement que ceux qui ont été exposés à l'action des autres solutions.
[illegible]	20	23	23	99	100	L'un d'entre eux a été fécondé et est relativement bien développé ; les deux autres n'ont pas été fécondés.
[illegible]	30	36	50	84	93	Deux d'entre eux ont été fécondés et sont normalement développés ; le troisième n'est pas fécondé.
[illegible]	33	35	35	84	92	Tous les trois ont été fécondés, mais ils sont peu avancés dans leur développement.
11	11	12	13	50	88	Deux ont été fécondés ; le troisième ne l'a pas été.
44	45	45	45	85	100	Tous les trois ont été fécondés, mais ils sont inégalement avancés dans leur développement.
10	10	10	10	38	67	Tous les trois ont été fécondés et sont normalement développés.
3	4	4	4	36	66	Deux d'entre eux ont été fécondés et sont bien développés ; le troisième n'a pas été fécondé.
3	3	3	3	22	43	Tous les trois ont été fécondés et sont normalement développés.

Documents C.

Expériences faites avec des eaux ménagères et des eaux d'égoût.

D'après les données que nous possédons spécialement sur les quantités d'eaux de diverses natures déversées dans les égouts des grandes villes, nous savons qu'en moyenne, par tête d'habitant et par jour, les égouts reçoivent 100 litres d'eaux ménagères et 50 litres d'eaux de latrines, soit en tout 150 litres.

Pour mes expériences, j'ai recueilli avec soin les eaux provenant de mon ménage (5 personnes adultes et 3 enfants) pendant sept jours. Voici comment elles se répartissaient :

1. 175 litres d'eaux de cuisine [1];
2. 180 — de toilette;
3. 190 — de lavage des appartements;
4. 220 — de lessive [2].

Voici quelle était la composition [3], par litre, de ces diverses eaux :

	1	2	3	4
Chaux	0gr,1400	0gr,3456	0gr,3008	0gr,1317
Magnésie	0,0280	0,0646	0,0328	0,0323
Potasse	0,1030	0,1170	0,0819	0,1480
Soude	0,4270	0,1180	0,5250	0,5450
Acide phosphorique	0,0850	0,0054	0,0346	0,0142

[1] Afin d'éviter de recueillir de trop grandes quantités d'eaux, je n'ai retenu que celles provenant des premiers lavages; les eaux de rinçage ont été jetées.

[2] Ces eaux provenaient d'une « petite lessive ». J'ai également fait jeter les dernières eaux de rinçage, qui comprenaient de l'eau presque pure.

[3] Je n'ai pas déterminé les quantités de sulfide hydrique que renfermaient ces eaux : je me réservais de faire ultérieurement des expériences sur les gaz des eaux putrides. J'ai seulement déterminé la quantité totale d'azote qu'elles contenaient. Je renonce donc à mentionner ici des valeurs numériques.

Ces analyses ont été faites immédiatement après la période de sept jours, c'est-à-dire à un moment où ces liquides n'étaient pour ainsi dire pas décomposés. Il est inutile de dire qu'au préalable, toutes les eaux d'une même catégorie avaient été mélangées avec soin. Quant au sable et aux autres éléments solides, grossiers et lourds, je n'en ai tenu aucun compte. Les eaux de cuisine, avant d'être soumises à l'analyse, avaient été filtrées sur un tamis dont les mailles avaient $^1/_2$ à 1 millimètre de diamètre. C'est le liquide filtré qui a été analysé. Quant au résidu, à la suite d'une erreur regrettable, il n'a pu être analysé : on l'avait jeté.

Les quantités de cendres que nous venons d'indiquer ne peuvent naturellement nous fournir aucune indication sur la nocuité des eaux qui nous occupent, même si nous admettions que l'azote que renfermaient ces eaux s'y trouvait tout entier à l'état de carbonate ammonique, hypothèse qui est tout à fait inexacte, du moins en ce qui concerne les eaux qui n'ont pas encore subi la putréfaction.

Ces 765 litres d'eaux ménagères par semaine pour un ménage de huit personnes font donc une moyenne, par tête et par jour, de $13^{l},5$ en chiffre rond.

Dans une expérience, j'ai mélangé $13^{l},5$ de ces eaux concentrées à $86^{l},5$ d'eau pure, afin d'obtenir un total de 100 litres, représentant en moyenne la quantité d'eaux ménagères diluées déversées par jour et par tête d'habitant dans les égouts. Dans une autre expérience, j'ai ajouté, à $13^{l},5$ de ces eaux concentrées, 125 grammes de matières fécales normales et fraîches, 700 grammes d'urine fraîche et $135^{l},675$ d'eau fraîche, afin d'obtenir un total de 150 litres, représentant, comme nous l'avons vu plus haut, la quantité totale d'eaux ménagères et d'eaux de latrines diluées qui se déverse, par tête d'habitant et par jour, dans les égouts.

Dans la suite de ce travail, nous désignerons toujours sous le nom d'*eaux ménagères* le premier de ces deux liquides, réservant le nom d'*eaux d'égout* au second.

Ces deux liquides, avant d'être employés pour mes expé-

riences, je les ai laissé fermenter, dans le courant du mois d'août, pendant huit jours. Lorsqu'ils n'étaient pas dilués au préalable, ils amenaient, l'un comme l'autre, presque instantanément, à leur limite de résistance, les truites de grande taille que l'on y déposait. Toutefois, si les animaux étaient transportés dans l'eau fraîche immédiatement après qu'ils s'étaient mis sur le flanc, ils se rétablissaient complètement.

J'ai fait ensuite une autre série d'expériences en mélangeant ces eaux putréfiées avec de l'eau pure dans les proportions de 1 à 5, de 1 à 10, de 1 à 20 et de 1 à 40.

Voici comment je procédai. Je me servis, comme réservoirs à poissons, d'appareils à incubation construits sur le principe des auges de Californie, mais dépourvus du réservoir interne. Ces réservoirs avec leur châssis avaient une capacité de 12 litres. Je commençai par les placer dans un courant continu et simultané d'eau putride et d'eau pure, et je m'arrangeai de façon que le degré de concentration de ce mélange fût toujours le même. Mais je dus renoncer à cette méthode, parce que les substances en suspension dans le liquide finirent par obstruer les conduites de décharge de l'appareil. Je procédai alors d'une autre manière. Je renouvelai, toutes les deux heures, le liquide dans lequel étaient déposés les poissons dans mes réservoirs, tout en laissant cependant ces derniers dans un courant continu d'eau pure. Voici comment.

Au début de l'expérience, ainsi que toutes les deux heures, lorsque le liquide était renouvelé, chaque auge contenait 5 litres d'eaux putréfiées, diluées de façon qu'elles eussent un degré de concentration déterminé et voulu. L'écoulement de l'eau pure étant réglé de telle façon qu'il fût de 20 litres par heure, et le réservoir ayant une capacité de plus de 10 litres, il en résultait que quinze minutes après le début de l'expérience, le liquide dans lequel se trouvaient déposés les poissons était moitié moins concentré qu'au début, et, à la fin de chaque période de deux heures, il atteignait un minimum de concentration. Puis, je recommençais avec la concentration primitive et ainsi de suite.

Cette façon de procéder me semble se rapprocher davantage de ce qui se passe en fait dans nos cours d'eau, où la proportion d'eaux d'égout qu'ils reçoivent n'est nullement constante, mais varie continuellement. En effet, la teneur en eaux d'égout ne peut être constante dans nos cours d'eau, surtout au voisinage des villes dont la canalisation n'est que partielle ou incomplète, ce qui fait que l'écoulement des égouts est intermittent.

Dans certains cas, mes expériences, faites de cette façon, ont duré jusqu'à 5 jours consécutifs, presque sans interruption. Les poissons sur lesquels j'ai expérimenté sont des truites de tailles diverses, des saumons de Californie de petite taille et des ombres-chevaliers. Pendant la nuit, les expériences n'étaient interrompues que pendant 6 heures et je laissais couler dans les auges de l'eau pure. Même le mélange de 1 partie d'eaux d'égout avec 5 parties d'eau pure n'exerçait pas d'action bien énergique sur les poissons; pourtant, le saumon de Californie s'y couchait sur le flanc après un séjour de 13 heures, et l'ombre-chevalier, après 18 heures. Lorsqu'on les plaçait ensuite dans l'eau fraîche, ils s'y rétablissaient en apparence, mais mouraient néanmoins quelques heures plus tard.

Deux petits poissons, appartenant aux mêmes espèces (saumon de Californie et ombre-chevalier) et ayant très sensiblement la même taille que les précédents, furent déposés dans un mélange de 1 partie d'eaux ménagères avec 5 parties d'eau pure. On les y laissa 18 heures sans qu'ils eussent l'air d'en souffrir le moins du monde. Puis ils furent déposés dans l'eau fraîche, où on les trouva morts quelques jours plus tard.

D'autres expériences furent faites avec des mélanges à 1 pour 10, à 1 pour 20 et à 1 pour 40. *Dans ces mélanges faits avec des eaux d'égout*, le saumon de Californie et l'ombre-chevalier moururent toujours. Dans le mélange le moins concentré (1 partie d'eau d'égout pour 40 parties d'eau pure), le premier de ces deux poissons mourut après 3 jours et 4 heures, et le second après 4 jours et 3 heures. Dans les mélanges d'eaux d'égout et d'eau pure à 1 pour 10 et à pour 20, ils moururent

plus rapidement, proportionnellement au degré de concentration.

Dans les mélanges faits avec des eaux ménagères, dans les mêmes proportions (1 pour 10, 1 pour 20 et 1 pour 40), les poissons restaient très alertes, en apparence du moins. Cependant ceux qui avaient été soumis à l'action du mélange à 1 pour 10 moururent quelques jours après dans l'eau pure où on les avait déposés. Les autres, qui avaient séjourné dans les mélanges à 1 pour 20 et à 1 pour 40, restèrent en vie, mais ils ne se développèrent guère dans la suite, bien qu'ils semblassent très vivaces, et quatre semaines après l'expérience, on pouvait encore aisément les distinguer à leur coloration plus foncée d'avec ceux de leurs congénères qui n'avaient pas été soumis à l'expérience.

Documents D.

Expériences faites ultérieurement par d'autres auteurs.

Examinons maintenant les travaux des auteurs qui, après nous, ont étudié expérimentalement la nocuité exercée sur le poisson par les éléments constitutifs d'eaux résiduaires. A l'exception de J. König, tous ont adopté notre méthode d'expérimentation.

Voici comment procédait König. Il mettait ses poissons dans de grands aquariums en forme de caisses et remplis d'eau pure. Il les habituait d'abord aux conditions d'existence ainsi réalisées ; puis, progressivement, il substituait à l'eau pure de l'eau artificiellement chargée des substances dont il voulait expérimentalement étudier les effets. Quant à la concentration de l'eau considérée, il la déterminait en analysant soit un mélange de divers échantillons d'eau, provenant de différentes parties de l'aquarium, soit la totalité de l'eau employée, à la fin de l'expérience. Il est incontestable que cette méthode se rapproche plus de ce qui se passe dans la nature quand une eau se contamine, que celle qui consiste à transporter brusquement des poissons d'une eau pure dans une eau souillée. Mais elle exige beaucoup plus de travail. Les résultats obtenus par König concordent, en général, si bien avec les nôtres, comme nous le verrons, que nous pouvons dire qu'il est préférable de procéder plus facilement et plus simplement.

Nous parlerons tout d'abord des recherches de H. Borgmann[1].

Étendant nos expériences, Borgmann a étudié l'action exercée par le salpêtre du Chili. Bien que nous tenions pour assez improbable qu'un corps aussi coûteux que le nitrate sodique puisse se trouver, en quantités appréciables, comme élément constitutif d'une eau résiduaire, nous signalerons cependant ses résultats. Il en est de même des essais qu'il a faits

[1] H. Borgmann, *Die Fischerei im Walde*. Berlin, 1892. Julius Springer, p. 123.

avec du chlorure potassique. Une solution à 1 °/₀₀ de KCl exerça une action nuisible sur une perche, mais elle n'eut aucune action sur une ablette au bout de cinq heures. Dans la pratique, de pareilles concentrations ne se rencontrent pas. Nous devons, en outre, à H. Borgmann des expériences avec l'acide acétique, l'acide lactique et l'acide butyrique. Ici encore nous avons le droit de mettre en doute qu'il puisse se trouver dans nos rivières des quantités aussi considérables ou mieux des concentrations aussi élevées de ces substances que celles admises par cet expérimentateur. Nous mentionnerons néanmoins quelques-uns de ses résultats.

Les recherches avec le chlorure sodique et le chlorure calcique ne nous apprennent rien de nouveau. En ce qui concerne le chlorure magnésique, le poisson se montra, d'après Borgmann, si insensible à l'action de cette substance, que nous admettons quelques-uns des résultats obtenus par l'auteur comme constituant le complément des nôtres.

Borgmann a fait aussi des expériences concluantes avec le sulfate de zinc. Nous en admettons les résultats d'autant plus volontiers que J. König, L. Hampel et von Raumer ont trouvé les poissons plus sensibles à ce réactif que nos propres essais ne nous autorisaient à le croire.

Toute une série de recherches ont aussi été entreprises avec du savon. Nous en citerons aussi quelques exemples, surtout parce que Borgmann a observé que cette substance déterminait des hémorragies dans les branchies, symptôme que nous n'avions constaté que sous l'action de la chaux vive.

Nous considérons comme spécialement dignes d'attention ses observations sur l'effet produit par les eaux de rouissage du lin : d'une part, parce qu'elles enrichissent nos connaissances sur l'action des eaux en putréfaction ; d'autre part, parce qu'elles ne laissent subsister aucun doute — ce qui ne résultait pas, à la dernière évidence, de nos propres expériences — sur le fait que le danger d'asphyxie existe aussi pour l'animal de forte taille. Nos expériences ont démontré que, vis-à-vis des poisons proprement dits, la sensibilité du poisson est inversement proportionnelle au poids du corps de l'animal. Borgmann

distingue, ce qui ne nous semble pas très heureux, entre l'eau de rouissage « fraîche » et celle de « huit jours »; mais il appelle « fraîche », l'eau qui a subi un rouissage de quatorze jours. L'eau de huit jours plus ancienne s'est naturellement améliorée par suite du progrès de la fermentation, tandis que les autres eaux résiduaires fraîches contenant des substances organiques deviennent plus mauvaises par la putréfaction.

ABRÉVIATIONS · Fl. = se couche définitivement sur le flanc; † = meurt.

SUBSTANCE ÉTUDIÉE et ESPÈCE DE POISSON.	TENEUR de la solution exprimée en mgr par litre.	TEMPÉRATURE exprimée en degrés centigrades.	DURÉE de l'expérience en heures.	RÉACTION DU POISSON.
Salpêtre du Chili.				
Perche de 12 cm. . .	10,000	5.0	3.15	Fl.; au bout de 4 m. †.
Perche de 2 cm. . .	5,000	5.0	4.30	S'agite au début; pas d'effet nuisible
Tanche de 12 cm. . .	100	2 0	41.00	Pas d'effet.
Carpe de 7 cm. . . .	100	2.0	41.00	
Truite de 12 cm. . .	100	5 0	7.30	
Chlorure magnésique				
Ablette de 10 cm. . .	12,600	12.5	4.30	Fl.; après 15 m., taches jaunes; se rétablit.
Ablette de 10 cm. . .	10,000	12.5	24.00	Pas d'effet.
Perche de 12 cm. . .	12,600	12.5	4.30	
Sulfate de zinc.				
Perche de 12 cm. . .	500	5.0	18.00	Fl.; au bout de 5 h. †.
Truite de 12 cm. . .	100	10.0	7.00	Fl.; au bout de 6 h. †.
Truite de 22 cm. . .	10	6.0	31.00	Fl.; au bout de 30 h. †.
Truite de 12 cm. . .	5	5.0	73.00	Agitée; survit.

SUBSTANCE ÉTUDIÉE et ESPÈCE DE POISSON.	TENEUR de la solution exprimée en mgr par litre.	TEMPÉRATURE exprimée en degrés centigrades.	DURÉE de l'expérience en heures.	RÉACTION DU POISSON.
Savon.				
Tanche de 12 cm. . .	1,000	2.5	16.00	Fl. après 212 m.; hémorragies dans les branchies; †.
Carpe de 7 cm. . . .	1,000	2.5	3.40	Fl. après 105 m.; hémorragies insignifiantes; †.
Tanche de 12 cm. . .	100	4.0	24.00	†.
Carpe de 7 cm. . . .	100	4.0	24.00	†.
Truite de 8 cm. . . .	50	6.0	53.00	Continue à vivre.
Acide acétique.				
Tanche de 12 cm. . .	5,000	2.5	2.00	†.
Carpe de 7 cm. . . .	5,000	2.5	0.55	Fl. après 55 m.; se remet dans l'eau pure; après 21 h. †.
Truite de 10 cm. . .	500	10.0	8.00	Reste en vie.
Acide butyrique.				
Tanche de 12 cm. . .	500	2.5	8.20	Fl. après 300 m. †.
Carpe de 7 cm. . . .	500	2.5	5.00	Fl. après 170 m. †.
Ombre-chevalier 10 cm.	500	2.5	1.20	Fl. après 60 m. †.
Tanche de 12 cm. . .	60	2.5	41.00	Reste en vie.
Carpe de 7 cm. . . .	60	2.5	41.00	Reste en vie.
Truite de 22 cm. . .	44	7.5	48.00	En apparence bien portante; après 72 h. †.
Truite de 22 cm. . .	22	7.5	24 00	En apparence bien portante; après 48 h. †.
Acide lactique.				
Truite de 12 cm. . .	500	10.0	3.35	Fl. après 3h10 †.
Truite de 10 cm. . .	100	7.5	18.00	†.
Truite de 12 cm. . .	50	7.5	23.00	Reste bien portante.

SUBSTANCE ÉTUDIÉE et ESPÈCE DE POISSON.	TENEUR de la solution exprimée en mgr par litre.	TEMPÉRATURE exprimée en degrés centigrades.	DURÉE de l'expérience en heures.	RÉACTION DU POISSON.
Eau de rouissage non filtrée.				
6 truites de 28 cm. .	100,000	7.5	2.00	Fl. après 50 m.; †.
6 truites de 19 cm. .	100,000	7.5	2.40	Fl. après 124 m.; †.
6 truites de 10 cm. .	100,000	7.5	3.00	Fl. après 130 m.; †.
Eau de rouissage filtrée.				
6 truites de 28 cm. .	100,000	7.5	1.58	Fl. après 39 m.; †.
6 truites de 18 cm. .	100,000	7.5	2.36	Fl. après 98 m.; †.
6 truites de 10 cm. .	100,000	7.5	3.00	Fl. après 120 m.; †.
Eau de rouissage de huit jours non filtrée.				
6 truites de 28 cm. .	100,000	8.0	4.15	Fl. après 160 m.; †.
6 truites de 19 cm. .	100,000	8.0	4.45	Fl. après 194 m.; †.
6 truites de 10 cm. .	100,000	8.0	6.25	Fl. après 204 m.; †.
Eau de rouissage de huit jours filtrée.				
6 truites de 28 cm. .	100,000	8.0	4.00	Fl. après 180 m.; †.
6 truites de 19 cm. .	100,000	8.0	4.40	Fl. après 200 m.; †.
6 truites de 10 cm. .	100,000	8.0	6.00	Fl. après 220 m.; †.

J. König et E. Haselhoff[1] ont entrepris des recherches très étendues sur le sujet qui nous occupe ; mais ils se sont servis d'une méthode que l'on peut adopter quand il s'agit de sels stables, mais non, à notre avis, quand il s'agit de corps dont nous connaissons la tendance à l'oxydation ou à la volatilisation. Pour ces derniers, il est impossible de déterminer avec certitude le maximum de concentration qui peut être toléré par le poisson. Il en résulte que ces recherches ne peuvent être comparées ni aux nôtres ni à celles des auteurs qui ont expérimenté après nous ; elles sont même presque inutilisables. A l'appui de cette affirmation, nous citerons la phrase suivante, dans laquelle König s'exprime sur le résultat de ses expériences avec l'acide sulfhydrique : « Tandis que C. Weigelt » a trouvé que l'acide sulfhydrique exerce déjà une action » nuisible sur les *truites* quand son degré de concentration est » de 1 milligramme par litre ; pour nous, la limite de toxicité » de cette substance commence en apparence quand le degré » de concentration est de 3 milligrammes par litre, mais elle » n'est certaine que si l'eau en contient de 8 à 12 milli- » grammes par litre, attendu que la teneur en H^2S n'a été » déterminée que vers la fin de l'expérience et que cette » teneur, l'instabilité de l'acide sulfhydrique nous force à » l'admettre, devait être plus grande au début qu'à la fin. » Une méthode qui, tout en donnant 3 milligrammes pour résultat, oblige à admettre que la teneur est, en fait, de 8 à 12 milligrammes, est si peu sûre, qu'on ne peut guère utiliser les chiffres qu'elle fournit. D'un autre côté, König compare continuellement ses résultats aux miens et s'étonne, à l'occasion, qu'ils ne concordent pas. En raison même de l'incertitude de ses chiffres, ce manque de concordance nous paraît d'autant moins étonnant que König, à *une seule exception près*, qui n'entre pas en considération ici, n'a opéré que sur des carpes, des tanches et des poissons rouges (dorades). Or, les valeurs

[1] J. König und E. Haselhoff, *Ueber die Schädlichkeit industrieller Abgänge für die Fische.* (Landwirthschaftl. Jahrb., 1897, p. 75.)

trouvées en expérimentant sur des carpes et des tanches ne peuvent s'appliquer aux truites. Comment König a-t-il pu avoir la malheureuse idée d'expérimenter avec des poissons rouges? Pour que des expériences de ce genre puissent être utiles à la pisciculture pratique, elles doivent être faites sur des poissons qui vivent réellement dans nos cours d'eau et non sur des poissons d'aquarium. Le poisson rouge n'a d'importance que comme poisson d'ornement, mais non comme poisson utile. D'autre part, le fait même que König compare constamment ses résultats aux nôtres, nous paraît la meilleure preuve qu'il ne tient pas la méthode suivie par nous et par d'autres pour aussi inutilisable qu'on pourrait le croire en le voyant en adopter une autre. S'il avait suivi directement nos voies, celles de nos prédécesseurs et celles des auteurs qui se sont occupés de la question après nous, ses expériences nombreuses et soigneuses auraient, en les rapprochant des nôtres, contribué à étendre le domaine de nos connaissances, tandis qu'actuellement personne ne peut rien en tirer d'utile, pas même König lui-même, si on s'en réfère à la citation que nous avons transcrite plus haut.

A notre grand regret, nous ne pouvons donc parler longuement des expériences de König. Cependant nous en signalerons quelques résultats.

Les études de König avec le chlorure de strontium, le chlorure de baryum et l'acide picrique sont nouvelles, l'action de ces substances n'ayant pas été étudiée auparavant.

Voici comment König explique pourquoi il a fait des expériences avec le chlorure de strontium et le chlorure de baryum :

« Le chlorure de strontium, dit-il, se rencontre, à côté des
» chlorures alcalins et alcalino-terreux, dans certaines eaux de
» houillères ; nous en avons trouvé, dans 6 échantillons diffé-
» rents, de 295 à 912 milligrammes par litre. On le rencontre
» également en quantités assez importantes dans les eaux
» mères de quelques salines. » — « On trouve aussi parfois le
» chlorure de baryum en quantités assez importantes, dans des
» eaux de houillères, libres d'acide sulfurique. Nous en avons

» trouvé, dans 6 échantillons différents, de 27 à 1450 milli-
» grammes par litre. » Mais, d'autre part, l'auteur dit :

« Pour les eaux de pêche naturelles, le chlorure et les » autres sels solubles de baryum n'ont aucune importance » réelle, parce qu'ils se combinent aux sulfates toujours pré- » sents dans ces eaux, pour former du sulfate de baryum, » insoluble, qui est inoffensif et se précipite. »

Étant donnée l'absence d'importance qu'offrent, au point de vue de la pêche, les expériences avec le chlorure de baryum et de strontium, de l'aveu même de König, nous les avons exclues du programme de nos recherches.

Nous regrettons, dans l'intérêt des pêcheries, que ce bon expérimentateur n'ait pas consacré à l'étude d'autres agents chimiques la peine et le temps qu'il a perdus ici. Il y a bien des choses qui auraient grand besoin d'être fixées expérimentalement. Il nous paraît indifférent, au point de vue pratique, de connaître que « les poissons semblent se comporter individuellement de façon différente vis-à-vis du chlorure de baryum et qu'ils peuvent s'y adapter jusqu'à un certain point », du moment que nous savons que ces animaux n'ont jamais l'occasion de se trouver en contact avec ce sel.

Pour ce qui regarde l'*acide picrique*, qui est toxique, König a trouvé qu'à la concentration de 50 milligrammes par litre et à la température de 13°,75 C, il exerçait, au bout de 10 heures, sur une carpe de 40 grammes, une action manifeste, qui se termina par la mort de l'animal 3 jours après le début de l'expérience. Par contre, à la concentration de 20 milligrammes par litre, il resta sans effet, alors même que l'animal y séjourna 10 jours durant.

Pour les motifs que j'ai indiqués précédemment, je passerai sous silence les résultats des expériences entreprises par König sur l'action du manque d'oxygène et sur la présence d'acide sulfhydrique et d'acide carbonique libre dans l'eau. Je ne parlerai pas non plus de ses expériences relatives à l'action du chlorure sodique, du chlorure calcique et de l'ammoniaque, parce qu'elles ne fournissent aucun résultat qui puisse nous

intéresser; je ne dirai rien non plus de ses expériences avec le sulfure ammonique, parce qu'il a employé une concentration trop élevée (373 à 737 milligrammes par litre). « La limite minima de nocuité du sulfure ammonique n'est pas encore trouvée; ces expériences devraient être reprises, » dit König lui-même.

König a constaté que les carpes et les tanches sont beaucoup plus sensibles à l'action du *carbonate ammonique* que nous ne l'avions observé pour les truites. C'est ainsi que, selon König, 170 à 180 milligrammes par litre exercent une action toxique sur la carpe et la tanche, tandis que, d'après mes observations, de petites truites supportent parfaitement d'être exposées pendant 1 $^1/_2$ heure dans une eau contenant 3000 milligrammes de carbonate ammonique par litre. Si ce résultat ne doit pas être attribué à un dégagement d'ammoniaque dans l'atmosphère, de sorte que König devait en trouver moins à la fin de l'expérience qu'il n'y en avait au début, nous ne pouvons l'expliquer que par ce fait que les sels d'ammoniaque du commerce ont souvent une composition très différente.

Étant donné que trois de nos expériences ont été effectuées avec des concentrations supérieures à celles que König a trouvées être la limite de résistance, nos résultats paraissent inattaquables. Peut-être serions-nous arrivé cependant à d'autres résultats, si nous avions prolongé la durée de l'expérience au delà d'une demi-heure, ce qui ne nous a pas semblé pratiquement nécessaire.

Pour le *chlorure* et le *sulfate ammoniques*, que nous n'avons pas étudiés, König trouve la limite de résistance, pour les carpes et les tanches, « déjà à 400 milligrammes, et à coup sûr à 700-1000 milligrammes par litre », l'expérience ayant duré environ 8 heures. Mais l'auteur n'indique pas la température de l'eau.

Le *chlorure magnésique* serait toxique, d'après König, pour des carpes de 80 à 120 grammes, à la concentration de 7000 à 8000 milligrammes par litre, la température étant de 9° à 14°C. Dans plusieurs de nos expériences effectuées à une température

plus élevée (25°C), nous avons constaté qu'après avoir été placés pendant 2 heures dans des solutions beaucoup moins concentrées (1000 milligrammes par litre), des poissons de rivière, tels que l'anguille, la tanche, la rotengle, — à l'exception pourtant de l'ablette, qui résista, — mouraient après 16 à 18 heures.

Mais les expériences faites par König avec les sulfates de zinc et de cuivre ainsi qu'avec des eaux contenant des sulfates ferreux et ferrique sont surtout intéressantes. L'expérimentateur, en effet, s'est efforcé de déterminer l'influence qu'exercent des substances en suspension provenant de la précipitation des sels neutres dissous par certains éléments que contenait l'eau. Étant donné que nous nous servions d'eau très pure pour nos expériences, nous n'avons guère eu l'occasion de constater de pareils faits, qui expliquent pourtant la discordance des résultats fournis par des *expériences similaires*. Cela nous montre non seulement qu'il *faut tenir soigneusement compte de la nature chimique de l'eau que l'on emploie quand on fait de semblables expériences*, mais encore qu'il faut naturellement aussi tenir compte des circonstances qui existent en fait dans la pratique quand il s'agit de conclure à propos d'expertises.

Pour le *sulfate de zinc*, König n'a pu en déterminer avec certitude la limite inférieure de toxicité. En effet, dans une première série d'expériences, 37 milligrammes d'oxyde de zinc, dont 31 en solution sous la forme de sulfate, déterminèrent, au bout de 20 heures, des symptômes morbides bien caractérisés ; tandis que, dans une seconde série, la même teneur du réactif resta sans effet sur des poissons qui y séjournèrent 72 heures : ils ne se couchèrent sur le flanc qu'après un séjour de 40 heures dans une eau tenant en solution 55 milligrammes d'oxyde de zinc par litre. J. König admet pourtant que l'oxyde de zinc commence à produire un effet toxique quand son degré de concentration est, en chiffre rond, de 31 milligrammes par litre, ce qui correspond approximativement à 110 milligrammes de sulfate de zinc (avec son eau de cristallisation). Dans mes expériences, qui étaient de courte durée (1 heure ou 10 minutes seulement) et que je pratiquai à l'aide de solutions bien

claires, les poissons de rivière ne subirent aucun préjudice durable, même quand l'eau tenait 1000 milligrammes par litre. H. Borgmann, qui ne nous renseigne pas, il est vrai, d'une façon précise sur l'état de l'eau qu'il a employée, a constaté, comme moi, que les poissons de rivière sont très insensibles à l'action du sulfate de zinc, même quand on prolonge l'expérience, tandis que la truite y est, par contre, très sensible. Ed. von Kaumer [1] a vu des ablettes mourir au bout de 2 $^{1}/_{2}$ heures dans une eau contenant 140 milligrammes par litre. Nous ne pouvons comprendre ces résultats différents qu'en admettant de grandes différences dans les quantités d'hydroxyde de zinc précipité qui se seraient déposées sur les branchies.

De même, dans ses expériences avec le *sulfate de cuivre*, où il se précipite du carbonate de cuivre, König a constaté, chez les poissons qu'il a étudiés (carpes et tanches), une sensibilité plus grande que celle que j'avais trouvée. D'après König, 12 milligrammes de sulfate de cuivre (avec son eau de cristallisation) et « même de plus minimes quantités encore déterminent, à la longue, des phénomènes morbides persistants ». Dans mes expériences, au contraire, même avec de l'eau contenant au minimum 100 milligrammes par litre, j'ai observé, il est vrai, après 7 minutes, une action énergique, mais ses effets n'étaient pas persistants : les animaux se rétablissaient ensuite, quand on les déposait dans de l'eau pure.

Des différences de même genre se présentent en ce qui concerne l'action du *sulfate ferreux* et du *sulfate ferrique*. Dans ce cas encore, la sensibilité des sujets doit être influencée par des précipités d'hydrate ferrique. J. König, qui, malheureusement, n'a expérimenté que sur des poissons rouges (dorades), a trouvé une sensibilité plus grande que celle que m'ont indiquée mes expériences. Par contre, vis-à-vis de l'*alun potassique* et de l'*alun chromique*, les poissons rouges de König se montrèrent plus résistants que mes truites.

[1] *Forschungsberichte über Lebensmittel und ihre Beziehungen zur Hygiene, etc.*, II, 1895, 17.

Nous signalerons encore des expériences de E. Haselhoff et B. Hünnemeier [1], qui furent entreprises dans le but de déterminer la toxicité d'une série de matières colorantes modernes. Comme sujets, ils ont employé surtout des tanches ; dans certains cas, cependant, ils ont expérimenté en même temps sur des carpes, ce que nous avons indiqué, dans le tableau qui suit, par la lettre *C* (carpe). Ces auteurs ne fournissent malheureusement pas de renseignements précis concernant leur méthode d'expérimentation. Il est regrettable qu'ils n'aient pas tenté de descendre jusqu'à la limite de résistance pour le bleu de méthylène et la chrysoïdine.

Nous ne sommes, malheureusement, pas renseignés sur la taille des poissons soumis à l'expérimentation. En outre, la durée de résistance n'est indiquée qu'en jours. Ces indications sont donc fort insuffisantes. En parlant des poissons soumis à l'action du bleu de méthylène, de la chrysoïdine et du brun Bismarck, les auteurs disent : « les organes internes sont imprégnés de matière colorante ».

Ludwig Hampel [2] a entrepris de soumettre à un contrôle minutieux et sérieux les résultats de mes propres expériences, de ceux du moins que K.-W. Jurisch [3] a signalés dans son livre et pour autant qu'ils se rapportent aux truites. Il est regrettable que cet expérimentateur n'ait pas eu à sa disposition notre travail original. Dans l'intérêt de la question, nous aurions désiré lui voir contrôler toutes nos expériences essentielles du moins. Bien des divergences apparentes, constatées par L. Hampel, et qui s'expliquent par le fait que ses expériences ont été effectuées avec des solutions beaucoup plus ou beaucoup moins concentrées que celles que j'avais employées, ne se seraient pas produites. On ne peut naturellement pas s'attendre à voir

[1] J. König, *Verunreinigung der Gewässer*, II, p. 339.

[2] *Wirkungen von Abwässern auf die Forelle.* Wien, 1893.

[3] *Die Verunreinigung der Gewässer.* Eine Denkschrift, im *Auftrage der Flusscommission des Vereins zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrien Deutschlands bearbeitet.* Berlin, 1890.

concorder parfaitement les données fournies par des observateurs qui opèrent avec une eau, sans doute, différente et sur des poissons dont le pouvoir de résistance est modifié par suite de leur adaptation à telle ou telle eau. Néanmoins les

Matières colorantes expérimentées.	Concentration en milligrammes par litre.	Température de l'eau exprimée en degrés centigr.	Durée de l'expérience. jours.	Réaction manifestée par les poissons.
Bleu de méthylène (C).	217,5-177,5	6–12	7	Les poissons deviennent malades. †
Bleu de méthylène (C).	157,5-57,5	6–12	7	Idem. †
Chrysoïdine	5,0	3-4,5	8	Idem. †
Brun Bismarck . . .	8,0	3,5–5	4	Idem. †
Brun Bismarck . . .	5,0	3,5–5	4	Sans action.
Jaune de Martius (C).	85,0	10–12,5	4	Les poissons deviennent malades. †
Jaune de Martius (C).	57,5	10–12.5	4	Sans action.
Indigotine (C). . . .	471,5	9–17,5	5	Idem.
Noir naphtol	150.0	5–8,5	3	Idem.
Noir pour laine . . .	150,0	5-8,5	3	Idem.
Fuchsine diamant (C).	125.0	7,5–10	14	Idem.
Jaune métanile (C). .	120,0	7-10	14	Idem.
Rouge Congo . . .	110,0	3–8.5	5	Idem.
Azoorseille	100,0	4–8,5	4	Idem.
Orange β-naphtol . .	100,0	7.5–10	14	Idem.
Vert naphtol	100.0	4–8.5	3	Idem.
Dinitrocrésol	80.0	4–8,5	3	Idem.
Dinitrorésorcine . .	80.0	4,5–9	6	Idem.
Chrysamine . . .	60.0	4–8,5	3	Idem.

résultats de Hampel concordent, en général, si bien avec les miens, que j'en ai été agréablement surpris, étant données les nombreuses sources d'erreurs possibles. Parmi les divergences

dignes d'être notées qui existent entre nous, je mentionnerai que L. Hampel a constaté que le poisson est beaucoup plus sensible que je ne l'ai indiqué à l'action du *savon dissous*, ce qui s'explique aisément pourtant par la signification peu précise du terme « savon dur ordinaire ». Pour ce qui regarde l'*alun potassique*, Hampel a trouvé que le poisson y est moins sensible que je ne l'ai dit, ce qui peut facilement dépendre de la nature de l'eau; je l'ai déjà fait remarquer plus haut. Il a constaté, en outre, que les alevins de truite sont moins sensibles que je ne l'ai indiqué à l'action de l'eau contenant 25 et 10 milligrammes d'*ammoniaque* par litre.

Pour ce qui regarde la sensibilité du poisson vis-à-vis du *sulfate de zinc* et du *sulfate de cuivre*, l'auteur l'a trouvée plus grande que ne l'avaient établie mes expériences.

L'*anhydride sulfureux* ($0^{mgr},5$) qui tuait mes alevins de truite, ne produit pas d'effet nuisible, employé au même degré de concentration, d'après Hampel. De même l'*arséniate sodique*, à raison de 100 milligrammes par litre, exerce sur eux, d'après cet auteur, une action moins funeste que ne l'ont établie mes expériences.

Enfin, Hampel signale aussi de légères divergences entre ses résultats et les miens pour ce qui concerne l'action de la *chaux vive*. Ses truites se montrèrent plus sensibles, ce qui s'explique facilement si l'on admet que l'eau dont je me suis servi contenait plus d'acide carbonique, hypothèse qui concorde bien avec les résultats de mes expériences avec le carbonate ammonique.

Les expériences dont je viens de parler et les publications qui ont pleinement confirmé mes résultats prouvent que je poussais un peu loin la prudence quand, estimant leur valeur démonstrative, je disais, à la fin de mon travail paru en 1884 : « Avant tout je tiens à prévenir que les chiffres que j'ai indi- » qués ne doivent pas être considérés comme des valeurs par- » faitement établies, décisives, pour des expertises qui » devraient rechercher si des eaux résiduaires sont nuisibles » à l'élevage et à la conservation du poisson. Je les considère

» tout au plus comme pouvant servir de points de repère, de
» même que je ne regarde mon travail tout entier que comme
» une première tentative générale, faite en vue de jeter quel-
» que lumière sur une question très importante. Mais cette
» question est bien loin encore d'être résolue. »

Je maintiens encore aujourd'hui cette conclusion; néanmoins, la somme actuelle de nos observations constitue une base sérieuse, que l'on peut utiliser pour apprécier l'importance de la pollution d'un cours d'eau et du préjudice qu'elle peut causer aux poissons.

Jusqu'ici nous ne nous sommes occupé que des expériences relatives aux dangers que font courir directement ou indirectement aux poissons les éléments toxiques des eaux résiduaires. Mais le poisson, pour vivre dans un cours d'eau, doit y trouver les matières nutritives nécessaires à son existence. Il est donc indispensable d'examiner la question de savoir quelle action peuvent exercer aussi les éléments constitutifs des eaux résiduaires sur les êtres vivants dont se nourrissent les poissons.

J'estime, en effet, que, au point de vue des intérêts des pêcheries, il est fort indifférent que le poisson meure par l'action directe des éléments des eaux résiduaires ou qu'il soit obligé de déserter le cours d'eau où il prospérait, parce que sa nourriture est tuée par ces éléments. Dans l'un comme dans l'autre cas, pour le pêcheur le préjudice est le même. Nous reviendrons sur ce point.

D'un autre côté, quand il s'agit de juger de l'état d'impureté présumé d'une eau et de ses effets nuisibles sur les poissons, il ne faut jamais perdre de vue les *maladies naturelles* des poissons, qui peuvent entrer en cause. Ainsi que l'ont établi les recherches faites à la station biologique de Munich, le nombre de ces maladies est très considérable et leur effet, souvent épidémique, est parfois très grave et étendu. Ce n'est pas ici le lieu de dénombrer toutes les maladies que l'on a jusqu'ici observées chez les poissons. Nous désirons seulement attirer l'attention sur quelques-unes d'entre elles, particulièrement fréquentes.

Nous mentionnerons en première ligne une étude récente de Br. Hofer [1] sur les *maladies dues au refroidissement.* Bien qu'elles n'existent pas dans la nature, c'est-à-dire dans nos cours d'eau, cependant elles se manifestent assez fréquemment quand on transporte des poissons bien portants dans une eau de source *froide,* alors qu'ils vivaient précédemment dans une eau plus chaude. De brusques changements de la température de l'eau, atteignant 8° à 10°C., nuisent beaucoup aux poissons ; ils ne se produisent jamais dans la nature. La structure de leur peau ne permet pas aux poissons de réagir contre ces variations subites. On sait, en effet, que les poissons n'ont pas de disposition anatomique qui leur assure une température constante, comme c'est le cas pour les animaux à sang chaud. Ces derniers ont « la peau pourvue d'un riche réseau de capillaires sanguins, » qui, en se contractant, refoulent le sang dans les parties plus » profondes du corps, lorsque de l'air froid agit sur elle. Inver- » sement, les capillaires de la peau se dilatent et y font affluer » le sang quand la température intérieure du corps augmente » trop ; le sang peut alors se refroidir dans la peau, par évapo- » ration. Les animaux à sang chaud présentent, en outre, des » phénomènes chimiques de régulation de la température, » qui rendent aussi la température de leur corps indépendante » de variations de la température ambiante. Enfin, la couche » cornée qui revêt toute la surface de l'épiderme des animaux » à sang chaud les protège aussi contre les changements brus- » ques de la température. »

Le poisson, lui, se comporte tout autrement. « Il appartient » à la catégorie des animaux à température variable : la tem- » pérature de son corps est toujours égale à celle de l'eau » ambiante, ou bien elle n'en diffère que d'une fraction de » degré. La peau du poisson ne contient que de rares capillai- » res sanguins. Ces capillaires siègent aussi exclusivement » dans le derme cutané et ne pénètrent pas, comme chez les

[1] *Ueber Erkältungskrankheiten der Fische.* (ALLG. FISCHERZEITUNG, XXVI, 1901, n° 11, p. 242.

» animaux à sang chaud, dans l'épiderme avec des prolonge-
» ments papillaires du derme. Toute la région de l'épiderme
» est plutôt dépourvue de vaisseaux sanguins. En outre, le
» poisson ne possède aucune disposition anatomique assurant
» la régulation chimique de la température, et son épiderme
» mince, ressemblant plutôt à une muqueuse, n'est pas kéra-
» tinisé, sauf passagèrement à l'époque du frai. »

Le refroidissement agit sur le poisson de telle sorte que des carpes, par exemple, qui, « au moment où on les plaçait dans
» une eau plus froide, étaient parfaitement normales et pré-
» sentaient une peau saine et lisse, montraient, dès le lende-
» main déjà, en divers points de la peau du corps et des
» nageoires, des taches d'aspect laiteux, tandis qu'en d'autres
» points, l'épiderme était irrégulièrement détaché et enroulé
» en fins filaments, irrégulièrement disposés. La peau sem-
» blait écorchée. En d'autres points, des lambeaux d'épiderme
» étaient déjà tombés, laissant le derme à nu. Si l'on regardait
» les poissons dans le sens de leur longueur et dans l'eau, on
» constatait que leur épiderme présentait un reflet légère-
» ment trouble. Dans toutes ces parties modifiées, les cellules
» épidermiques étaient fortement gonflées, en voie de des-
» truction et pour la plupart nécrosées, de sorte qu'elles se des-
» quamaient, soit isolément, soit par lambeaux, avec d'autres
» cellules voisines. Cet état ne fit que s'accentuer pendant
» les 12 heures suivantes, les poissons étant maintenus dans
» de l'eau de source à 5°C. Il s'accentua même au point que
» la majeure partie de l'épiderme prit cet aspect trouble, blanc
» laiteux, et se détacha par grands lambeaux irréguliers. Un
» observateur non prévenu aurait, sans nul doute, déclaré que
» le poisson était infesté par des champignons. Beaucoup de
» poissons devinrent absolument blancs. Tout ce processus
» de nécrose des cellules épidermiques s'accomplit en 24 à
» 36 heures. »

Si, au moment où se manifestaient les premiers symptômes de cette affection, on replaçait les poissons dans de l'eau plus chaude, ayant la température de celle dans laquelle ils vivaient

auparavant, ils se guérissaient et les parties de la peau déjà atteintes ne tardaient pas à se cicatriser. Sinon, les poissons mouraient.

J'ai cru devoir signaler, avec quelques détails, cette nouvelle observation, en raison de l'importance économique qu'elle offre pour le transport et le commerce du poisson.

Je mentionnerai encore quelques maladies épidémiques fréquentes.

Depuis une vingtaine d'années, dans le district de la Moselle, le *barbeau* souffre d'un mal que l'on a appelé la *maladie des barbeaux*. C'est une maladie infectieuse, due à un parasite animal, le *Myxobolus Pfeifferi*. Des centaines de quintaux de barbeaux meurent presque chaque année, couverts de sortes de tumeurs et d'ulcères. Mais beaucoup plus répandue, surtout dans les étangs, est une maladie de la carpe, désignée du nom de *mal éruptif* de la carpe, qui est aussi l'œuvre d'un protozoaire parasite (*Myxobolus Cyprini*, Hofer). Chaque année, des centaines de quintaux de carpes meurent de ce mal éruptif ou, tout au moins, en souffrent gravement dans leur croissance naturelle. Chez les Salmonides, deux maladies sont particulièrement fréquentes : la *furonculose* de la truite et de l'ombre-chevalier et la *maladie à taches* de l'ombre-chevalier. L'une et l'autre sont occasionnées par des bactéries, qui font mourir le poisson après l'avoir couvert de furoncles dans le premier cas, et, dans le second cas, après avoir déterminé la formation de taches blanchâtres dans la peau (pertes de substance épithéliale et intense inflammation intestinale). Il est vrai que ces deux maladies n'éclatent guère que dans les établissements de pisciculture; cependant la furonculose se constate aussi parfois dans les ruisseaux libres.

Les infections bactériennes sont tout aussi fréquentes chez les poissons que chez les animaux supérieurs. Nous ne rappellerons ici que le *rouget épidémique* de la carpe, occasionné par *Bacterium piscicidum* Fisch. et Enoch.; celui de l'ablette, qui est dû à *Bacterium vulgare* et que l'on a aussi observé, à plusieurs reprises, dans les cours d'eau libres.

Chaque année, surtout au printemps, après le dégel, des brochets, des carpes et des ablettes meurent en grand nombre dans les lacs. Ces poissons sont probablement victimes de bactéries qui se développent surtout abondamment sous la couche de glace. Ils sont d'autant plus sensibles à leurs atteintes que les conditions dans lesquelles ils vivent à cette époque de l'année leur sont déjà défavorables. Nous citerons encore les nombreux protozoaires parasites, comme *Ichthyophtirius* et une foule de sporozoaires; puis des *vers*, Platodes, Hirudinées, Nématodes et Trématodes; des *Crustacés parasites*, tels que *Lernaeocera*, etc., qui ne déterminent que rarement, il est vrai, une grande mortalité du poisson. Rappelons encore que de nombreux poissons meurent infestés par des Phycomycètes (Saprolégniacées). On ne peut donc nier qu'il existe dans la nature une foule de causes déterminant la mort des poissons, et indépendantes de toute intervention directe de l'homme.

D'un autre côté, l'homme peut aussi provoquer indirectement des maladies du poisson, soit en le plaçant, dans ses établissements de pisciculture, dans des conditions d'existence et de nourriture défavorables, — question dont nous n'avons pas à nous occuper ici, — soit en souillant les cours d'eau libres de substances organiques putrescibles, créant ainsi un excellent milieu de culture pour les bactéries, entre autres pour des espèces pathogènes pour le poisson et surtout pour l'écrevisse. C'est ainsi, par exemple, que la « peste de l'écrevisse », qui a exterminé ce crustacé dans nos ruisseaux, doit, en dernière analyse, être attribuée, d'après les recherches de B. Hofer, à la contamination des eaux par des matières en putréfaction.

Quand on est appelé à examiner une eau contaminée, préjudiciable à la conservation du poisson, il faut toujours bien s'assurer s'il n'y règne pas une maladie naturelle du poisson. Pour trancher cette question, il faut, non seulement faire l'examen miscroscopique et bactériologique des animaux malades ou morts, mais encore observer attentivement certains caractères extérieurs, qui permettent d'établir avec grande pro-

babilité s'il s'agit d'une contamination par une substance nuisible ou bien d'une maladie naturelle du poisson.

Ainsi, s'il s'agit de décider laquelle de *deux* fabriques est responsable du préjudice causé, et que l'une d'elles déverse dans le cours d'eau un sel nuisible, tandis que l'autre y rejette des substances putrescibles, il sera très utile de ne pas oublier que les animaux de grande taille sont moins sensibles que ceux de petite taille à l'action des poisons, tandis qu'au contraire ils sont plus vite asphyxiés que ces derniers.

B. Hofer a, le premier et avec raison, attiré l'attention sur ce fait, que quand des poissons sont morts en masse à la suite d'une maladie naturelle, le tableau est tout différent de celui qui se présente quand il s'agit d'une mort en masse due à la contamination *artificielle* de l'eau. Dans le premier cas, pour autant que nous le sachions actuellement du moins, il arrive presque toujours que tous les poissons morts appartiennent à *une seule* espèce, attendu que les épidémies naturelles éclatent dans un seul endroit et n'atteignent généralement qu'*une seule* espèce. Au contraire, dans le cas de mort violente, provoquée par la contamination artificielle des eaux, on trouve les cadavres d'*espèces nombreuses et, généralement même, de toutes les espèces* qui vivent dans l'endroit contaminé. Cela nous semble aussi parfaitement plausible; car il n'y a guère dans la nature d'agent morbide qui extermine en même temps et en un même lieu tous les êtres, sans exception, qui y vivent, ce qui se produit naturellement quand une eau s'empoisonne violemment.

Quand un expert reçoit simultanément, pour les examiner, les cadavres de poissons provenant d'un même endroit et appartenant à de *nombreuses* espèces, il doit conclure avec la plus grande probabilité qu'ils sont morts de *mort violente*. Cette remarque de B. Hofer nous paraît d'autant plus importante que nous ne connaissons malheureusement aucun symptôme anatomo-pathologique des effets spécifiques des « poisons du poisson » et que, par conséquent, nous ne pouvons presque jamais diagnostiquer, à l'aide du microscope, un cas d'intoxication du poisson. Ce fait se comprend mieux encore si l'on

songe que l'action des poisons peut varier beaucoup selon leur degré de concentration. Le chlorure de chaux, par exemple, quand il est fortement concentré, exerce l'effet d'un caustique sur la surface respiratoire des branchies. Par contre, quand il est en solution très étendue, il commence par dissoudre la substance fondamentale des cellules rouges du sang dans les capillaires branchiaux, tandis que les noyaux de ces cellules résistent et obstruent les capillaires, ce qui fait que le poisson atteint offre les symptômes de l'asphyxie. Les recherches de Hofer nous apprennent, en outre, que la présence d'un excès de sels de fer dans l'eau détermine un trouble de la cornée et aveugle les poissons. Elles nous montrent que les lessives caustiques, quand elles n'atteignent le corps du poisson qu'en certains endroits, — ce qui est le cas, par exemple, pour le mélange de potasse caustique et d'huile que l'on emploie pour nettoyer d'anciennes peintures à l'huile, — produit des « taches cautérisées », c'est-à-dire des pertes de substance épithéliale et des hémorragies dans le derme sous-jacent. Les études de Hofer nous ont appris encore que la mort par asphyxie, chez le poisson, se reconnaît à ce que la bouche reste grande ouverte et que l'opercule est écarquillée; que les explosions dues à la dynamite ou à la chaux vive font éclater la vessie natatoire et brisent la colonne vertébrale en plusieurs pièces. Elles nous apprennent aussi que dans une foule de cas d'intoxication, par exemple par le phénol et par d'autres poisons du système nerveux, le poisson ne montre aucune lésion, même perceptible à l'examen microscopique, et que la plupart des acides, des alcalis et des sels métalliques détruisent avant tout le mince épithélium branchial, qui se détruit naturellement aussi, peu d'heures après la mort, quand le poisson a succombé à la mort naturelle, de sorte que cette lésion ne peut constituer un caractère spécifique dans la plupart des intoxications aiguës. La justice devrait donc tenir compte de ces faits. Elle ne devrait pas persister à exiger que l'examen du cadavre démontre indubitablement une intoxication parfaitement déterminée, pour la considérer comme établie. Un expert autorisé pourra, dans la plupart des cas, et même sans devoir recourir à des recher-

ches trop minutieuses, donner son avis avec la plus grande probabilité, s'il a soin d'examiner attentivement les circonstances secondaires qui se présentent.

En ces dernières années, M. le Prof[r] D[r] Hofer, de Munich, s'est occupé de déterminer la sensibilité des animaux de petite taille qui vivent dans nos cours d'eau et servent de nourriture aux poissons. Cette étude étendue est encore inédite, mais son auteur a eu l'obligeance de me communiquer les résultats acquis dès ce moment.

M. Hofer a effectué ses expériences en se servant d'eau préalablement bouillie, puis parfaitement neutralisée, chaque expérience se faisant dans 100 à 200 centimètres cubes d'eau.

Je me permettrai de critiquer cette méthode. Il serait préférable, à mon avis, de ne pas employer d'eau préalablement bouillie, attendu que l'ébullition de l'eau peut engendrer des conditions très différentes de celles qui se trouvent réalisées dans nos eaux normales. C'est ainsi, par exemple, qu'elle tue la flore microscopique qui peut servir de nourriture aux animaux de petite taille. Il eût été préférable d'employer l'eau telle quelle, en tenant compte, par exemple, de son degré d'alcalinité, quand il s'agissait de déterminer la valeur de l'action toxique exercée par les acides.

Dans les expériences de M. Hofer, l'eau se trouvait à une température variant entre 14°,5 C et 19° C : entre ces limites de température, l'auteur n'a pas constaté de différence dans les résultats obtenus. Il s'est spécialement appliqué à l'étude de l'action exercée par l'ammoniaque, à divers degrés de concentration, sur de nombreuses espèces de petits animaux : je transcrirai tout d'abord un bon nombre des résultats fournis par ces expériences. Je mentionnerai ensuite quelques-uns des résultats obtenus en faisant agir des acides et quelques sels neutres.

Pour chacune de ces expériences, l'auteur s'est livré, par comparaison, à une expérience de contrôle en se servant de la même eau, mais dépourvue de la substance toxique. Il a voulu, par là, établir dans quelle mesure les animaux soumis à l'expérimentation pouvaient vivre dans cette eau non

intoxiquée lorsqu'on les y laissait pendant un temps égal à la durée de l'expérience, durée qui était de vingt-quatre heures au moins et parfois même de plusieurs jours.

Nous donnons les résultats fournis par les expériences faites avec l'ammoniaque dans le tableau ci-contre (pp. 208-211.)

Pour ce qui concerne les autres expériences, qui toutes ont été faites dans les mêmes conditions, je me bornerai à indiquer les limites de toxicité.

ACIDE CHLORHYDRIQUE. — *Cloe diptera.* Limite de toxicité : < 5 milligrammes par litre.

— — *Daphnia pulex.* Limite de toxicité : environ 5 milligrammes par litre.

— — *Cyclops fuscus.* Limite de toxicité : 5 à 10 milligrammes par litre.

ACIDE SULFURIQUE. — *Cloe diptera.* Limite de toxicité : < 10 milligrammes par litre.

— — *Daphnia pulex.* Limite de toxicité : < 5 milligrammes par litre.

— — *Cyclops fuscus.* Limite de toxicité : < 25 milligrammes par litre [1].

ACIDE NITRIQUE. — *Cloe diptera.* Limite de toxicité : > 10 milligrammes par litre.

— — *Daphnia pulex.* Limite de toxicité : environ 10 milligrammes par litre.

SULFATE SODIQUE. — *Cloe diptera.* Limite de toxicité : $2^{gr},5$ par litre.

— — *Daphnia pulex.* Limite de toxicité : > 1 à 5 grammes par litre.

— — *Cyclops fuscus.* Limite de toxicité : $2^{gr},5$ par litre.

SULFATE MAGNÉSIQUE. — *Cloe diptera.* Limite de toxicité : 1 gramme par litre.

— — *Cyclops fuscus.* Limite de toxicité : 2 grammes par litre [2].

[1] Les expériences ont été interrompues et n'ont pas été poussées jusqu'à 5 milligrammes par litre.

[2] HOFER a remarqué dans ses expériences que, notamment pour les sels neutres, la durée de résistance varie beaucoup avec l'âge de l'animal. Les animaux les plus jeunes résistent plus longtemps.

Nos d'ordre.	CONCENTRATION DE LA SOLUTION.		100 milligrammes par litre.		50 milligramme par litre.	
	ESPÈCE ÉTUDIÉE.	Limite de toxicité exprimée en milligrammes par litre.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.
1	*Limnea stagnalis* . . .	< 50	5	† 18h [1]	5	† 18h [1]
2	*Bythinia tentaculata* .	> 20	—	—	—	—
3	*Culex pipiens*. Larve. .	> 50	5	24h [6]	5	18h [7]
4	*Culex pipiens*. Chrysalide.	> 100	5	— [8]	5	— [8]
5	*Chironomus plumosus* . Larve.	> 5	5	† 1h30′ [9]	5	† 5h3 [10]
6	*Cloe diptera*. Larve . .	< 100	10	† 35 à 40′ [15]	—	—
7	*Daphnia pulex*.	> 5	—	—	—	—
8	*Gammarus fluviatilis*. .	< 5	20	† 15′ [18]	20	† 35 [18]

[1] et [2] Les animaux se retirent aussitôt dans leur coquille, en sécrétant un mucus abondant évidemment, les protège. † = mort.

[3] Le seul exemplaire qui eût résisté 18 heures vivait encore après 72 heures, dans la sol fraiche.

[4] Après 18 heures, un exemplaire †; l'autre, qui a été placé dans une nouvelle solution, n'y a aucun préjudice après 12 nouvelles heures.

[5] Ils ferment aussitôt leur coquille; pas d'effet nuisible.

[6] Après 18 heures, 2 spécimens †; les autres, bien portants, continuent à nager.

[7] Après 18 heures, 2 spécimens †; les autres continuent à vivre et se transforment en chrysal

[8] Toutes éclosent; elles ont donc résisté.

[9] Après 10 minutes, elles restent immobiles, incapables de nager.

[10] Après 30 minutes, elles deviennent incapables de nager.

[11] Après 1h30′, elles deviennent incapables de nager. Symptômes convulsifs. Après 24 heures

25 milligrammes par litre.		20 milligrammes par litre.		10 milligrammes par litre.		5 milligrammes par litre.	
Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.
5	† 18h [2]	—	—	5	† 18h [3]	2 grands	— [4]
—	—	5	† 18h [5]	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
5	† 30h [11]	5	† 48h [12]	5	† 48h [13]	10	— [14]
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	20	† 22 à 24h [16]	20	— [17]
20	† 1h45' [19]	20	† 2h30' [20]	20	La plupart † 3h30' [21]	20	— [22]

Symptômes convulsifs après 1h30'. Après 5 heures, 1 †; après 24 heures, 2 autres †.
Après 24 heures, toutes vivent encore. Après 48 heures, la dernière succombe.
Après 24 heures, 2 †. Après 7 jours, 7 sont encore alertes.
Après 10 minutes, phénomènes convulsifs; elles sont incapables de nager.
Les plus jeunes sont les plus résistants.
Après 24 heures, 1 †; après 48 heures, 5 †; 14 sont encore bien portants après 6 jours.
Ils sont immédiatement paralysés, incapables de nager.
Après 20 minutes, ils sont incapables de nager.
Après 30 minutes, ils deviennent incapables de nager.
Après 20 heures, 2 vivent encore, mais sont incapables de nager.
Après 6 heures, ils sont encore bien portants. Ce degré de concentration est parfaitement supporté.

Nos d'ordre.	CONCENTRATION DE LA SOLUTION.		100 milligrammes par litre.		50 milligramm par litre.	
	ESPÈCE ÉTUDIÉE.	Limite de toxicité exprimée en milligrammes par litre.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.
9	*Asellus aquaticus* . . .	> 50	5	† 1h45' [23]	5	— [24]
10	*Cyclops fuscus*.	> 5	10	† 5' [25]	10	† 15' [26]
11	*Simo ceferlus sima*. .	< 5	20	† 5' [31]	20	† 10' [31]
12	*Ostracode* sp.	< 25	10	† 16h [35]	10	† 5 jour [36]
13	*Naïs proboscidea*. . .	< 5	—	—	—	—

23 Après 1 heure, ils se mettent sur le dos.
24 Après 48 heures, ils vivent encore tous. Pas de phénomène morbide.
25 Ils deviennent immédiatement immobiles, incapables de nager.
26 Après 2 minutes, ils nagent énergiquement en tous sens; après 5 minutes, ils deviennent i[…]pables de nager.
27 Après 15 minutes, ils deviennent incapables de nager.
28 Après 30 minutes, ils deviennent incapables de nager.
29 Après 5 heures, 5 †; les autres ne nagent plus que quand on les irrite directement. Ap 20 heures, 5 autres †; après 3 jours, 10 vivent encore. Les animaux de l'expérience de co trôle sont couverts de champignons. L'accélération de la croissance sous l'action de l'amm niaque est remarquable.
30 Après 22 heures, 4 †; après 48 heures, un autre †; après 3 jours, les autres sont bien portan
31 Après 1 minute, ils deviennent incapables de nager.
32 Les jeunes éclos sont un peu plus résistants; ils vivent environ 1h30' de plus que les adult

[illegible] milligrammes par litre.		20 milligrammes par litre.		10 milligrammes par litre.		5 milligrammes par litre.	
Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.	Nombre d'animaux soumis à l'expérience.	Durée de l'expérience.
5	— [24]	—	—	—	—	—	—
20	† 25′ [27]	20	† 45′ [28]	20	— [29]	20	— [30]
20	† 50′ [32]	20	† 1h30′ [32]	20	† 20h [33]	20	— [34]
20	— [37]	10	— [38]	—	—	—	—
10	† 30′ [39]	10	† 40′ [39]	10	† 2h [40]	15	† 6h30′ [41]

Après 4 heures, on ne constate aucune action ; après 18 heures, 3 vivent encore, mais ils succombent plus tard.

Après 4 heures, pas d'action ; après 20 heures, 5 † ; les autres sont encore très bien portants 3 jours plus tard.

Après 1h15′, ils cessent de se déplacer ; après 2 heures, ils exécutent encore des mouvements des pattes. Ils meurent pendant la nuit.

Après 3 jours, 2 † ; après 4 $^1/_2$ jours, 1 autre † ; les autres, épuisés, finissent par succomber.

Après 4 jours, 1 † ; les autres se meuvent encore. Après 15 jours, 1 autre †. Sept jours plus tard, aucun autre n'a succombé.

Après 7 jours, aucun n'a succombé ; l'expérience cesse.

Après 3 minutes, symptômes convulsifs ; incapacité de nager.

Après 20 minutes, symptômes convulsifs ; incapacité de nager.

Les symptômes convulsifs et l'incapacité de nager ne se manifestent que plus tard.

QUELLES SONT LES MATIERES SPÉCIALES AUX PRINCIPALES INDUSTRIES, QUI, EN SE MÉLANGEANT AVEC LES EAUX DES PETITES RIVIÈRES, LES RENDENT INCOMPATIBLES AVEC L'EXISTENCE DES POISSONS ?

Ainsi que nous l'avons déjà dit, cette question ne peut se résoudre telle quelle. Nous devons nous occuper, au préalable, des impuretés naturelles que contiennent nos cours d'eau naturels, et dont la présence est nécessaire pour que le poisson puisse vivre et se reproduire dans ces cours d'eau. Nous ne devons pas oublier que ces impuretés naturelles peuvent atténuer l'action nuisible qu'exercent sur nos cours d'eau les résidus de nos industries et de nos habitations. A ce point de vue, il est indispensable d'examiner en même temps dans quelles proportions l'industrie et nos habitations déversent dans nos rivières les différents éléments de leurs eaux-vannes. Nous nous occuperons de ce sujet, en son lieu et place, pour autant que les publications relatives aux analyses des eaux résiduaires nous fournissent des renseignements sur la contamination de nos cours d'eau.

Traitons d'abord la première question, qui est la plus importante.

Quels éléments naturels existent dans nos cours d'eau ?

Quelle action exercent-ils sur la vie du poisson, par opposition à celle que nous voyons se produire dans nos cours d'eau, comme conséquence de notre civilisation?

Ainsi posée, elle ne touche pas à la partie essentielle de la question préalable que nous avons à traiter. En effet, nous ne devons pas seulement examiner quelle est et quelle doit être la constitution de l'eau de nos rivières pour assurer à nos poissons toutes les conditions de séjour favorables; mais nous devons aussi connaître la nature et la constitution des rivières elles-mêmes, de leur lit, de leurs rives, les obstacles qui peuvent s'opposer à leur cours, tels que pierres, plantes, etc. ; nous devons connaître la vitesse de leur courant, le volume

d'eau qu'elles charrient, c'est-à-dire leur régime, les endroits où leur cours est rapide, les bas-fonds qu'elles présentent.

En d'autres termes, l'eau, considérée en tant que milieu d'habitation du poisson, n'est pas encore son habitation, son foyer même, capable de lui fournir toutes les conditions nécessaires à la vie. Il lui manque l'organisation intérieure, qui seule fait de l'habitation un « foyer », un « chez-soi » réalisant toutes les autres conditions de la vie.

Nous devons donc, en toute première ligne, considérer le cours d'eau en tant que « foyer » réunissant, d'une façon constante, toutes les conditions nécessaires pour assurer un séjour favorable aux animaux en général et aux poissons de tout âge en particulier.

Il est certain que chaque espèce de poisson a ses mœurs spéciales et exige une habitation spéciale. Pour s'assurer que le *foyer* et le *milieu d'habitation* varient selon les espèces, il suffit de comparer les milieux dans lesquels vivent respectivement la truite et la carpe, par exemple.

Mais le foyer, la demeure du poisson doit aussi réaliser les conditions indispensables à sa reproduction, conditions qui, à leur tour, diffèrent avec les espèces, tant en ce qui concerne les circonstances de la fécondation que le développement des œufs, celui des embryons et du fretin. Naturellement, chaque espèce exige des conditions spéciales pour le *développement de ses œufs et de ses jeunes*.

Mais l'eau ne doit pas seulement réaliser les conditions qui assurent aux poissons une demeure constamment confortable. Elle doit aussi leur offrir la nourriture nécessaire. Elle doit être à la fois un *lieu de nourriture*, un *pâturage* pour les poissons de tout âge. A ce point de vue encore, les conditions requises diffèrent naturellement selon l'espèce et l'âge.

Mais, en y ajoutant même la salubrité de l'eau, ce ne sont pas encore là toutes les conditions extérieures que doit réaliser une eau pour mériter le nom d'*eau à poissons naturelle.* Nous devons aussi penser au pêcheur et à la pêche. Nous devons donc aussi nous occuper des conditions que doit présenter un

cours d'eau pour constituer un domaine accessible au pêcheur. Nous parlerons donc des différents modes de pêche adaptés à la population de la rivière ainsi qu'aux mœurs et aux besoins des diverses espèces de poissons. Nous devons, par conséquent, tenir compte des procédés de pêche et des engins employés. Toutes les questions secondaires que nous venons de faire connaître sont, enfin, subordonnées à l'existence d'une eau saine et salubre.

En conséquence, pour répondre à cette question : Quelle doit être la constitution d'un cours d'eau à poissons pour qu'il soit sain et saluble? nous devons examiner les différents points suivants :

I. Quelle doit être la composition chimique de l'eau pour assurer aux poissons une vie prospère, dans la plus large acception du mot?

II. Quelles autres conditions doit remplir un cours d'eau à poissons pour constituer un *foyer* et un *milieu d'habitation* favorables aux poissons, un milieu convenant au *développement des œufs et du frelin* et, enfin, un *pâturage* et un *lieu de nourriture* qui leur conviennent?

III. Quelles conditions doit réaliser un cours d'eau naturel pour constituer un *domaine utile au pêcheur?*

La complexité et la multiplicité des aspects de la question de savoir quelles conditions doit remplir un cours d'eau naturel afin d'être sain et salubre pour les poissons expliquent pourquoi elle n'a pas été résolue jusqu'ici. Nous nous efforcerons d'y répondre aussi complètement que possible en tenant compte de toutes les questions secondaires, mentionnées plus haut, qu'elle comporte et pour autant que la science et la pratique nous offrent aujourd'hui des données suffisantes pour la résoudre.

I. — Quelle est la constitution chimique de nos cours d'eau naturels à poissons ?

Etant donnée l'influence toute spéciale qu'exerce la température des cours d'eau sur le poisson et sur les phénomènes de double décomposition entre les divers éléments chimiques naturels de l'eau, il est juste que nous commencions par examiner les *conditions* et les *influences naturelles de la chaleur*. Nous étudierons ensuite la *teneur en air (oxygène) de l'eau* et, enfin, les *autres éléments chimiques des cours d'eau naturels*.

TEMPÉRATURE. — Sous nos latitudes tempérées, la température des cours d'eau oscille entre 0° et 25°C. Dans les lacs profonds, la température, sauf à la surface, ne descend jamais au-dessous de 4°C.

Quand la température de l'eau est inférieure à 4° ou 6°C, la plupart des Cyprinides entrent dans un état spécial, un sommeil hivernal. Ils ne prennent plus de nourriture et s'enfoncent dans la vase, où ils restent immobiles. Pendant cette période d'hivernage, ils maigrissent. Il n'est naturellement pas question d'une intervention quelconque de l'homme en ces circonstances. Aux époques de l'année autres que le fort de l'hiver, règnent des températures plus élevées, qui ne peuvent être dangereuses pour les poissons que quand elles atteignent leur maximum, surtout lorsqu'en été la baisse du niveau ou même la sécheresse favorise l'élévation de la température de l'eau. Les limites maxima que peuvent supporter les poissons varient suivant les espèces.

Pour les Salmonides, une température moyenne de 10 à 14°C. est la plus favorable ; la température maxima qu'ils peuvent supporter, quand il s'agit d'un séjour prolongé, est d'environ 16°C. Cependant, comme l'a démontré J. Frenzel[1], ils peuvent séjourner très longtemps aussi dans une eau à 25 C.,

[1] *Zeitschrift für Fischerei*, 1895, p. 277.

quand elle contient de grandes quantités d'oxygène respirable. Nous pouvons donc admettre que, dans la nature, quand l'eau tombe en cascades ou qu'elle coule rapidement sur un lit rocheux et accidenté, les Salmonides peuvent résister à des élévations de température même considérables. Des températures de 25° à 30° C., non seulement sont supportées par les Cyprinides, mais elles leur sont même nécessaires à l'époque de leur croissance maxima. Disons en passant que la croissance et l'appétit des Cyprinides cessent ou deviennent insuffisants quand ces poissons font un séjour prolongé dans une eau froide (au-dessous de 12°C.) Les autres poissons comestibles ou sauvages qui vivent dans nos cours d'eau exigent, pour se bien porter, des eaux dont les limites de température sont comprises entre les termes extrêmes que nous venons d'indiquer pour les Salmonides et les Cyprinides. Les uns vivent dans l'eau froide, en compagnie des Salmonides ; les autres, dans l'eau plus chaude, avec les Cyprinides. Pour ces derniers, il est, en outre, de règle qu'un excès d'oxygène augmente leur force de résistance à l'action de l'eau chaude. D'après J. Frenzel, les poissons d'eau chaude supporteraient 30°C, et même davantage, à condition que l'eau soit bien aérée. Cette observation de Frenzel pourrait faire admettre que l'homme peut impunément élever intentionnellement la température d'un cours d'eau, soit en y déversant, par négligence, de l'eau chaude, soit en y amenant de la vapeur. Ce serait une erreur. Il faut veiller à ce que les cours d'eau ne reçoivent ni eaux chaudes ni vapeurs surchauffées qui pourraient en élever la température, même localement, au delà de 13°C., s'il s'agit d'un cours d'eau peuplé de Salmonides, ou au delà de 25°C., si le cours d'eau est peuplé de Cyprinides. Il faudrait, dans l'un ou l'autre cas, intercaler des appareils réfrigérants ou des bassins de mélange, afin que les eaux ou les vapeurs fussent convenablement refroidies avant de se déverser dans le cours d'eau.

Air. Oxygène. — La quantité d'air ou — pour ne parler que du seul élément de l'air qui intéresse essentiellement le poisson — la quantité d'oxygène que tient en solution une eau à poissons normale, dépend non seulement de la pression atmosphérique, mais encore de la température.

Nous donnons ci-après deux tableaux.

Le premier indique la solubilité de l'air dans 1 litre d'eau, réduite à la température de 0°C. et à la pression de 760 millimètres. Il indique, en outre, la proportion d'oxygène et d'azote que contient cette quantité d'air dissous sous la pression partielle, dont dépend la solubilité respective des deux gaz (voir tableau p. 218.)

Le second tableau indique les cœfficients de solubilité des deux gaz (voir p. 219)

Comme nous l'avons dit déjà, la teneur en oxygène des eaux naturelles est modifiée par le mouvement éventuel de l'eau. Dans les rivières à courant rapide et torrentueux, il faut donc s'attendre à trouver une quantité d'oxygène supérieure à la valeur maxima indiquée par ce tableau ; mais l'excédent de gaz n'est pas dissous dans l'eau : il s'y trouve mélangé, entraîné mécaniquement. Les averses qui tombent des couches froides de l'atmosphère sur le sol ou dans les cours d'eau agissent de même, c'est-à-dire qu'elles augmentent la quantité d'oxygène. Cependant il ne s'agit pas simplement ici d'un entraînement mécanique d'oxygène par les gouttes de pluie pendant leur chute à travers l'air; mais nous pouvons admettre que les vésicules d'eau sont complètement saturées d'air et supposer que, bien qu'elles s'échappent en traversant les couches plus chaudes de l'atmosphère pour tomber sur le sol ou dans les cours d'eau, la rapidité de leur chute est telle que l'air qu'elles ont dissous à basse température n'a pas le temps de s'en échapper dans la proportion conforme au coefficient de solubilité.

C'est dans les remous et les cascades que nous trouvons d'habitude, surtout pendant les chaleurs de l'été, les poissons avides d'oxygène, tout comme, dans nos aquariums, nous les voyons se presser vers les tourbillons de l'air et se tenir dans

leur rayon. Un excès d'oxygène est donc, en tout cas, favorable et même utile à la plupart de nos poissons.

Absorption par l'eau de l'air atmosphérique, présentant comme composition centésimale : 20,95 vol. d'oxygène et 79,05 vol. d'azote, à 0° et sous une pression de 760 millimètres [1].

Volumes de ces gaz, exprimés en centimètres cubes, que dissout 1 litre d'air de 0° à 30C.

Température de l'eau.	Air dissous.	Oxygène	Azote.	Température de l'eau.	Air dissous.	Oxygène	Azote.
0°	28,805	10,244	18,561				
1°	28,083	9,970	18,113	16°	20,063	7,012	13,051
2°	27,382	9,706	17,676	17°	19,700	6,878	12,822
3°	26,701	9,453	17,248	18°	19,347	6,746	12,601
4°	26,049	9,212	16.837	19°	19.009	6,622	12.387
5°	25,429	8,979	16,450	20°	18.690	6,501	12,189
6°	24,822	8,759	16,063	21°	18,394	6,386	12.008
7°	24,247	8,548	15,699	22°	18,098	6.272	11,826
8°	23,688	8,344	15 344	23°	17.810	6,116	11,644
9°	23,153	8,152	15,001	24°	17,539	6,061	11,478
10°	22,644	7,965	14,679	25°	17,278	5,958	11,320
11°	22,168	7,789	14 379	26°	17,014	5,860	11,154
12°	21.706	7,619	14,087	27°	16,765	5,761	11,004
13°	21.268	7,458	13,810	28°	16.528	5.667	10 861
14°	20,852	7.303	13,549	29°	16,220	5,501	10,719
15°	20,450	7,154	13,296	30°	16,073	5.480	10,593

En outre, les plantes vertes aquatiques contribuent aussi à augmenter de l'eau la teneur en oxygène. En effet, comme les

[1] D'après les coefficients d'absorption observés par Winkler pour les gaz oxygène et azote, et calculés et dressés par le Dr A. Westphal, assistant du IIe Institut de chimie de l'Université.

plantes aériennes, elles décomposent, sous l'action de la lumière, l'acide carbonique produit par leurs processus physiologiques ou provenant de tout autres sources. L'oxygène qu'il contient est mis en liberté et se dégage dans l'eau ambiante et dans l'air. Jusqu'à quel point cette source d'oxygène peut être importante, c'est ce que montrent les expériences que K. Knauthe [1] a faites à l'aide de l'appareil

Coefficients d'absorption de l'oxygène et de l'azote dans l'eau [2].

Température de l'eau.	Oxygène (Winkler).	Azote (Winkler).	Température de l'eau.	Oxygène (Winkler).	Azote (Winkler).
0°	0,04890	0.02348			
1°	0,04759	0,02291	16°	0,03347	0,01651
2°	0,04633	0,02236	17°	0,03283	0,01622
3°	0 04512	0,02182	18°	0,03220	0,01594
4°	0.04397	0,02130	19°	0,03161	0,01567
5°	0.04286	0.02081	20°	0,03103	0,01542
6°	0,04181	0,02032	21°	0.03048	0,01519
7°	0,04080	0,01986	22°	0,02994	0.01496
8°	0,03983	0,01941	23°	0,02943	0,01473
9°	0,03891	0,01898	24°	0,02893	0,01452
10°	0,03802	0,01857	25°	0,02844	0,01432
11°	0,03718	0,01819	26°	0.02797	0,01411
12°	0,03637	0,01782	27°	0,02750	0,01392
13°	0.03560	0,01747	28°	0,02705	0,01374
14°	0,03436	0,01714	29°	0,02660	0,01356
5°	0,03415	0,01682	30°	0,02616	0,01340

[1] *Der Kreislauf der Gase in unseren Gewässern.* (Biol. Centralblatt, 1898, p. 785.)

[2] C'est-à-dire les volumes de chacun de ces gaz, réduits à 0°C. et à 760 millimètres, qu'absorbe un volume d'eau à la température *t*° et sous la pression atmosphérique.

Tenax[1]. Elles nous démontrent que les algues vertes (les études ont spécialement porté sur *Euglena viridis*) peuvent, quand elles existent en grande abondance, augmenter considérablement la teneur normale en oxygène.

Il est à remarquer pourtant que cette teneur élevée n'existe que pendant le jour et pendant la période de végétation, quand les algues sont extrêmement abondantes. Elle n'a pas lieu pendant la nuit, quand la lumière fait défaut. Alors, l'excédent d'oxygène, en rapport avec la pression partielle de ce gaz, se dégage progressivement jusqu'à ce que se rétablisse la teneur normale correspondant à la température. L'activité physiologique des algues ne semble donc pas avoir pour conséquence d'augmenter, d'une façon permanente, la teneur de l'eau en oxygène au delà de la normale.

Indépendamment des poissons, tous les autres animaux aquatiques absorbent de l'oxygène de l'eau et contribuent, par conséquent, à en diminuer la teneur normale en oxygène. Ces animaux consomment directement une partie de cet « air vital » qui leur est indispensable.

D'autre part, surtout à l'époque des grandes chaleurs, une autre partie importante de l'air dissous dans les cours d'eau est employée aux phénomènes de fermentation et de putréfaction subis par les cadavres des animaux et les débris végétaux. Les excréments de tout genre que contiennent les cours d'eau très peuplés jouent le même rôle, et des phénomènes pure-

[1] M. KNAUTHE, en qualité d'assistant du Profr Dr N. ZUNTZ, membre du jury du concours institué par la *Deutscher Fischerei-Verein,* a eu la chance d'utiliser, pour ainsi dire avant son introduction dans le monde scientifique, l'appareil destiné à la détermination de l'oxygène de l'eau qu'a construit, sous le nom de *Tenax,* M. le Profr Dr FRIEDR. C. G. MÜLLER, de Brandenburg a. H., et qui a été couronné par le jury de ce concours. Sans cet appareil excellent et facile à manipuler, M. KNAUTHE n'aurait pu, du moins en si peu de temps, découvrir les nombreux faits nouveaux qu'il a établis. Nous devons nous féliciter de l'intervention de ce nouvel instrument, qui, comme le dit M. KNAUTHE lui-même, peut, presque sans peine, fournir des résultats aussi importants.

ment chimiques contribuent aussi à diminuer la teneur de l'eau en oxygène.

Nous devons encore tenir compte des phénomènes d'oxydation auxquels sont soumis les débris organiques décomposés. Enfin, nos eaux à poissons peuvent recevoir des corps inorganiques réducteurs, par exemple des sels ferreux, charriés fréquemment par les eaux de source et les eaux souterraines et qui doivent s'oxyder aux dépens de l'oxygène dissous dans l'eau, ainsi que le prouvent les précipités ferriques que nous constatons sur le lit de nos rivières.

La nature, il est vrai, tend à compenser ces pertes en enlevant de l'oxygène à l'air, ce que facilite surtout le mouvement de l'eau. Mais dans une eau dormante ou stagnante, l'absence de mouvement rend cette compensation, par une diffusion lente et progressant de haut en bas, d'autant plus difficile que le travail des bactéries, qui débarrassent la vase des débris animaux et végétaux qu'elle contient, est plus actif. En été, dans une foule de cours d'eau, les plantes vertes réagissent avec succès contre ces actions en décomposant de grandes quantités d'acide carbonique.

Certains faits doivent attirer tout spécialement notre attention. Je veux parler des phénomènes qui s'accomplissent en hiver sous la glace et qui sont d'autant plus dangereux pour les poissons que la circulation de l'eau sous la glace est plus minime et que la putréfaction est plus intense dans la vase du fond. Indépendamment du manque d'oxygène qui se produit progressivement dans les couches les plus profondes et tranquilles, et qui est d'autant plus marqué que l'eau est plus peuplée, il peut se produire un autre danger. Il s'accumule dans l'eau un excès de produits de la désassimilation et surtout d'acide carbonique résultant des processus de putréfaction. Or, sous la couche de glace, il n'y a pas de plantes capables de décomposer l'acide carbonique. Il se forme alors inévitablement de l'hydrogène sulfuré, ce gaz infect que nous connaissons comme produit constant de la décomposition des corps albuminoïdes et dont nous redoutons à juste titre l'action

néfaste, car c'est pour le poisson l'un des poisons les plus violents. Cette formation d'hydrogène sulfuré est due, soit au manque d'oxygène résultant de phénomènes chimiques de réduction, soit peut-être aussi à l'intervention de certaines bactéries.

Nous devons tenir compte de toutes les circonstances dont nous venons de parler. Elles constituent les divers facteurs qui règlent la teneur en oxygène d'une eau à poissons. C'est leur action réciproque qui, en augmentant ou diminuant la quantité d'oxygène actif, établit pour chaque cours d'eau ou pour chaque région placée dans les mêmes conditions, une teneur normale moyenne, à laquelle se sont adaptées certaines espèces de poissons qui y prospèrent. Des circonstances spéciales, un violent orage, quelques journées très chaudes ou particulièrement froides, peuvent faire subir à cet ensemble de conditions plus ou moins harmoniques des variations passagères, que les organismes peuvent supporter pendant un certain temps, bien qu'elles ne répondent pas aux conditions habituelles de leur existence. Mais si la durée de ces conditions inaccoutumées dépasse certaines limites, nous voyons les espèces plus sensibles ou les individus de même âge — jeunes ou vieux — souffrir, mourir ou émigrer.

En dépit des observations les plus récentes, il nous manque malheureusement encore une foule de données précises sur les circonstances que nous avons appelées les facteurs actifs. Or, nous devrions disposer de centaines de séries de chiffres pour parvenir à saisir les rapports de cause à effet. Cette situation regrettable, dans laquelle nous nous trouvons, nous devons l'attribuer non seulement à ce que l'on a négligé d'étudier ces circonstances d'importance primordiale, mais encore à ce fait, que le dosage de l'oxygène dissous dans l'eau était jusqu'en ces derniers temps, sinon une des recherches chimiques les plus difficiles, du moins une des plus laborieuses, des plus subtiles et des plus ennuyeuses. Dans ces conditions, le chimiste qui étudiait une eau méritait d'autant moins d'être taxé de négligence que, s'il avait même entrepris

un dosage de l'oxygène, il n'aurait pu, ne disposant d'aucun terme de comparaison utilisable, interpréter la valeur du résultat qu'il aurait obtenu au prix d'un pareil labeur. La plupart du temps, le chiffre que lui aurait fourni son analyse ne lui aurait servi à rien. Mais cette situation ne tardera pas à changer. On reconnaît, en effet, de plus en plus la nécessité d'établir la quantité d'oxygène nécessaire aux diverses espèces de poissons, étant donné surtout que l'appareil Tenax de M. le Prof^r Dr Friedr. C. G. Müller, ainsi que l'a prouvé le travail de Knauthe, offre la possibilité de déterminer avec une précision suffisante, sans préparatifs trop longs (en une demi-heure environ), la teneur en oxygène d'une eau quelconque.

Quelques exemples nous permettront de prouver combien peut diminuer la teneur en oxygène des eaux vannes des villes sous l'influence des agents réducteurs, c'est-à-dire des phénomènes de putréfaction, de l'action des bactéries et des oxydations chimiques.

La Tamise, l'Isar et la Hase, en amont des zones de contamination de Londres, de Munich et d'Osnabrück, doivent être considérés comme des cours d'eau à poissons plus ou moins normaux. L'Isar même, en raison de son cours rapide et de son caractère de rivière de montagne, charrie des eaux sursaturées d'oxygène, qui s'y trouve entraîné mécaniquement.

Or, voici, exprimée en centimètres cubes et par litre, quelle est la teneur en oxygène de ces fleuves :

La Tamise en amont de Londres, 7.4; en aval, 0.25.

L'Isar en amont de Munich, 8 ; en aval, 3 à 4.

La Hase en amont d'Osnabrück, 3.6 à 5.8; en aval, 0.

Dans ses aquariums, où l'eau avait une température de 18°,2C, Knauthe a constaté, sous l'influence des excréments, etc., de ses poissons d'expériences, les diminutions suivantes de la teneur de l'eau en oxygène, par litre :

En vingt minutes, à la lumière diffuse du jour, elle passait de 4-5 cc. à $1^{cc},2$; en quinze minutes à la lumière brillante du soleil, elle passait de 4-5 cc. à $0^{cc},2$; ou bien, en vingt minutes à la lumière diffuse, elle passait de $6^{cc},8$ à $2^{cc},2$, et en vingt

minutes à la lumière brillante du soleil, elle passait de $6^{cc},8$ à $0^{cc},8$.

Il faut bien se garder de croire que les poissons puissent utiliser comme oxygène respirable toute teneur en oxygène quelconque. Ce que nous savons concernant les besoins respiratoires des animaux supérieurs nous permet déjà, *a priori*, de considérer cette manière de voir comme invraisemblable.

Pour que le poisson ne ressente pas d'apnée avec toutes ses conséquences funestes, la teneur en oxygène du cours d'eau qu'il habite ne doit pas descendre au-dessous de certaines limites, qui sont loin d'ailleurs de correspondre à une absence complète de ce gaz.

Nos eaux à truites dont le cours est rapide tiennent en moyenne $7^{cc},5$ d'oxygène par litre. Les observations faites à la station biologique fondée à Munich [1] par le *Deutscher Fischerei-Verein*, pour l'étude de l'ichthyopathologie, ont démontré qu'elle peut *passagèrement* se réduire de moitié sans compromettre la vie des Salmonides. Mais quand l'eau contient moins de 3 centimètres cubes d'oxygène par litre, la truite ne peut plus l'utiliser comme oxygène respiratoire.

Dans les rivières à courant peu rapide de la région où se trouvent des minerais de plomb, dans les lacs et les étangs peu profonds, où la température de l'eau peut atteindre 25°C. et même davantage, on peut admettre, par contre, que les Cyprinides peuvent encore respirer dans de l'eau qui contient 2 à 3 centimètres cubes d'oxygène par litre. D'après Knauthe, il est probable que la carpe peut vivre pendant un certain temps dans une eau tenant en solution 2 centimètres cubes d'oxygène; mais il faut bien se garder d'en conclure qu'elle puisse y vivre constamment et y prospérer. Nous ne tarderons sans doute pas à voir résoudre une foule de points, encore obscurs pour le moment, relatifs à ces questions. Nous possédons, en effet, aujourd'hui l'appareil nécessaire pour les trancher.

[1] Je dois ce renseignement à une communication que m'a faite verbalement le directeur de la Station, M. le Prof[r] BR. HOFER.

Matières nutritives et leur excès. — *Poisons.* — Nous parlons souvent de la couleur des cours d'eau, et pourtant l'eau pure est incolore, claire et transparente. Mais, en réalité, l'eau de nos cours d'eau naturels n'est jamais chimiquement pure, c'est-à-dire que ce n'est pas de l'eau distillée. Elle est toujours plus ou moins impure. C'est que l'eau de nos rivières et même l'eau de la mer a pour origine les eaux météoriques, qui tombent sur la terre en forme de pluie, neige, grêle et rosée.

L'analyse de ces eaux nous apprend qu'elles sont déjà souillées avant d'arriver sur le sol, par conséquent avant de se mettre en contact direct avec des éléments qui nous permettraient de nous expliquer pourquoi elles sont impures.

Indépendamment des gaz constituant l'atmosphère, indépendamment de l'azote, de l'oxygène et de certains gaz qui ne sont connus que depuis peu de temps, argon, hélion, néon, krypton, qui ne nous intéressent d'ailleurs pas ici, l'air qui nous entoure contient toujours de l'acide carbonique et des composés azotés. Dans certaines circonstances, il renferme même de la poussière cosmique. Ces substances souillent, dans l'atmosphère même, les gouttelettes d'eau qui se condensent en pluie.

Au voisinage de la mer, lorsque le vent souffle dans la direction du littoral, nous constatons dans l'air la présence d'une quantité assez considérable d'eau de mer, qui, chassée par le vent, mélange à l'eau de pluie les sels qu'elle tient en dissolution. Dans nos pays industriels et très populeux, les cheminées des maisons et des fabriques chargent encore l'atmosphère de quantités importantes de fumées et de produits gazeux de la combustion avec les matières solides qu'ils contiennent.

Bien que, dans certains cas, ces substances mélangées à l'air puissent intervenir dans la pollution naturelle de nos cours d'eau, cependant nous ne pouvons pas leur attribuer une importance considérable dans ce phénomène. Toutefois il convient de reconnaître que l'oxygène et surtout l'acide carbonique dont les eaux météoriques se chargent dans l'air atmo-

sphérique contribuent à souiller les cours d'eau, parce qu'ils favorisent la décomposition de certains éléments de l'écorce terrestre et qu'ils augmentent, en outre, le cœfficient de solubilité de l'eau pour une foule de ces éléments.

Si nous examinons ce que deviennent les eaux météoriques, nous constatons qu'une partie, au maximum 40 °/₀ de leur totalité, s'écoule à la surface du sol, sans pénétrer plus profondément, et forme de petits ruisseaux qui finissent par se jeter dans des cours d'eau plus importants. Une autre partie de ces eaux pénètre dans le sol, pour en ressortir à l'état de sources ou s'accumuler dans la nappe souterraine. La nappe souterraine, avec l'aide de la capillarité et de l'évaporation du sol et des végétaux, constitue la source qui entretient le cycle perpétuel de l'eau, grâce à l'évaporation dans l'atmosphère et à l'évaporation directe des eaux de la surface.

C'est à cette circulation perpétuelle de l'eau que la surface de la terre doit sa conformation actuelle, constamment variable; c'est à elle que nos cours d'eau doivent les substances qui les souillent. Nous verrons que le degré de pollution naturelle de nos cours d'eau à poissons est relativement peu important. Et cependant, au cours des millions d'années qui se sont écoulées depuis que ces phénomènes s'accomplissent, il a pu amener en solution, dans nos mers, des quantités incommensurables d'éléments du sol, autrefois fixes. D'autre part, les substances en suspension que l'eau a mécaniquement enlevées aux roches pour les amener dans les cours d'eau se sont amassées pour former de larges étendues de nos continents, qui ont été conquises sur l'empire des mers. Les deltas qui se forment aux embouchures des fleuves nous montrent la marche et l'effet de cette action de l'eau.

Un exemple nous permettra de nous rendre compte de l'importance des masses de substances en suspension que les cours d'eau charrient dans les vallées.

L'eau du Danube, à Vienne, ne semble généralement pas sale : témoin la chanson du beau Danube bleu. Et cependant si le Danube, interrompant son œuvre *pour un jour seulement*,

cessait de charrier les éléments suspendus et dissous dans ses eaux pour ne plus couler qu'en flots parfaitement purs sur l'étendue de la ville, il faudrait 30 trains de chemins de fer de 50 wagons chacun, chaque wagon étant chargé de 200 quintaux, pour transporter, à l'état sec, *ces substances insolubles*, et 50 trains semblables pour transporter, à l'état sec, *ces éléments dissous*. Et pourtant le Danube, si l'on prend la moyenne des diverses époques de l'année, ne contient par litre que 145 à 200 milligrammes d'impuretés totales avec 15 à 165 milligrammes de vase, tandis que le Nil contient jusqu'à 2^{gr},5 de vase par litre. Ces chiffres donneront, je pense, une idée saisissante du travail immense qu'accomplissent les cours d'eau et qu'ils ont accompli dans le cours infini des âges, rongeant et dissolvant sans cesse la surface du sol.

Ces masses imposantes passent alors des cours d'eau à la mer dans un état de concentration relativement peu élevé. Les substances insolubles sont, en majeure partie, des éléments détachés de la surface de la terre, et effrités, au préalable, par les eaux et par décomposition; elles représentent aussi des débris de la vie organique qui se sont décomposés à la surface du sol. Quant aux sels, on doit les considérer comme des produits d'une décomposition très récente, sauf le cas où il s'agit de mers anciennes que la nature a ensevelies au sein de la terre, avec leurs sels, que nos sources redissolvent peu à peu, ramenant à la surface ces restes d'anciens phénomènes de dissolution.

La géologie nous apprend que la croûte terrestre est très diversement constituée et que les couches de roches dont elle est formée ont une composition chimique très différente. La température des sources nous prouve que les eaux proviennent de profondeurs différentes et arrivent à la surface ayant la température de leurs bassins d'origine. On sait que la température est un facteur essentiel de l'énergie chimique et de la solubilité.

Nous devons donc nous attendre à voir les sources, chargées des éléments que leurs eaux ont pu dissoudre à l'intérieur de

la croûte terrestre, présenter une concentration et une composition très variables quand elles jaillissent à la surface du sol. Nous ne devons pas oublier, en outre, que la terre n'est pas seulement formée par des substances minérales, mais qu'elle contient aussi des substances organiques, en partie solubles, situées plus ou moins profondément selon que leur origine géologique est plus ou moins ancienne. C'est à la catégorie des formations organiques récentes qu'appartiennent nos tourbières et nos fanges, dont les eaux peuvent contenir jusque 313 milligrammes de matières organiques (humus) par litre (d'après G. Klien).

Le tableau suivant, emprunté à E. Reickardt [1], nous montre cette diversité de composition que nous avons signalée plus haut. C'est le résultat de l'analyse d'une série de souces froides, provenant, par conséquent, des couches superficielles du sol; l'auteur a mentionné la formation géologique dont elles proviennent.

Ces analyses nous montrent que la composition des eaux de source varie beaucoup, selon la quantité de substances solubles que contiennent les formations géologiques dont elles proviennent. Les analyses des deux sources provenant du granit nous montrent même que des eaux qui se trouvent dans une même roche présentent une composition différente et que, par conséquent, des roches en apparence semblables, comme les granits, offrent des différences importantes en ce qui concerne la solubilité de leurs éléments constitutifs. Que les granits d'un même massif ne font même pas exception à cette règle, c'est ce que prouvent les quatre eaux de source qui proviennent du Fichtel (tableau p. 230). Elles jaillissent à des altitudes variant entre 550 et 860 mètres au-dessus du niveau de la mer. A l'exception du n° 1, dont la température était de 11°4C [2], leur température oscillait entre 5° et 6°5C. Les

[1] *Grundlagen zur Beurteilung des Trinkwassers,* 1880, S. 33.

[2] A. Schwager, *Untersuchungen von Quell- und Flusswasser aus dem Fichtelgebirge.* (Geognotische Jahreshefte, 1892.)

Eaux de source provenant de formations géologiques diverses.

Nature de la formation géologique.	Un litre d'eau contient :							
	Résidu d'évaporation. Milligr.	Substances organiques. Milligr.	Chaux. Milligr.	Magnésie. Milligr.	Acide sulfurique. Milligr.	Chlore. Milligr.	Acide nitrique. Milligr.	Dureté. Degrés.
Granit	24,4	15,7	9,7	2,5	3,9	3,3	—	1,27
Granit	70,0	4,0	30,8	9,1	3,4	1,2	—	4,35
Mélaphyre	160,0	19,2	61,6	22,5	17,1	8,4	—	9,31
Basalte	150,0	1,8	31,6	28,0	3,4	traces.	—	6,08
Porphyre argileux	25,0	8,0	5,0	1,8	3,4	—	—	0,81
Schiste argileux	120,0	—	50,4	7,3	24,0	2,5	0,5	6,06
Grès bigarré	225,0	13,8	73,0	48,0	8,8	4,2	9,8	13,96
Muschelkalk (calcaire conchylien)	325,0	9,0	129,0	129,0	13,7	3,7	0,21	16,95
Muschelkalk dolomiteux	418,0	5,3	140,0	65,0	34,0	traces.	2,3	23,10
Source gypseuse près de Rudolstadt.	2365,0	traces.	766,0	122,5	1108,3	161,0	traces.	92,75

Eaux de source provenant du granit du Fichtel. Composition exprimée en milligrammes par litre.

NUMÉROS.	Résidu d'évaporation.	Substances organiques.	Chaux.	Magnésie.	Alumine.	Potasse.	Acide silicique.	Acide sulfurique.	Chlore.	Acide nitrique.
	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.
1	68,4	11,9	2,0	1,2	7,4	1,7	19,6	11,5	3,1	—
2	31,9	6,5	0,8	1,0	2,1	1,2	12,5	2,9	1,3	0,1
2a	35,8	5,0	1,4	1,6	3,7	2,1	13,6	3,4	1,3	0,1
3	24,9	2,5	1,4	1,9	1,5	2,0	5,4	3,0	1,6	—
4	29,5	5,1	1,4	0,7	1,3	1,1	8,3	4,5	1,6	0,1
4a	43,9	7,2	1,5	0,8	1,3	3,6	14,0	6,0	3,2	—

Numéro 1. Source de Silberbach, à 5 kilomètres au N.-O. de Hohenberg.
— 2 et 2a. Source de Weissmain à Ochsenkopf.
— 3. Fürstenbrunnen supérieure à Ochsenkopf.
— 4 et 4a. Pfalzbrunnen au S.-O. de Kösseine.

échantillons ont été prélevés en septembre 1888; ceux qui sont désignés d'un *a* ont été recueillis en septembre 1889.

Les différences que nous montrent ces analyses sont assez considérables. La température plus élevée de la source n° 1 explique pourquoi sa teneur est la plus élevée.

Les analyses doubles nous apprennent que, dans l'espace d'un an, se sont fait sentir des influences dont nous ne connaissons pas les causes, mais dont les effets se manifestent, ici aussi, par les différences que présentent, dans leur composition, les eaux d'une même source.

Le tableau suivant (pp. 232 et 233) comprend un choix d'analyses d'eaux de source, d'eaux souterraines et d'eaux de surface qui sont employées comme eau potable par différentes villes. Elles sont rangées par séries dans l'ordre de décroissance de leur résidu total. Comme ce sont des eaux filtrées, elles ne nous donnent pas, en réalité, l'idée absolument exacte de ce qu'est une eau naturelle. Néanmoins, elles nous indiquent suffisamment en quelles quantités et en quelles proportions existent les impuretés naturelles solubles, ainsi que les variations que peuvent présenter, dans leur teneur, leurs divers éléments constitutifs.

Ces analyses nous montrent que les eaux de source et les eaux souterraines renferment plus de substances minérales que les eaux de rivière; mais que, par contre, ces dernières sont plus riches en matières organiques, ce qui se comprend si nous songeons que les eaux de source et les eaux souterraines, en traversant le sol, subissent une filtration naturelle et se débarrassent des débris organiques insolubles.

D'autre part, leur séjour prolongé dans le sol et la roche leur permet, selon la nature de ces derniers, de se charger d'une plus grande quantité de matières minérales solubles que ne le peuvent les eaux météoriques, qui coulent rapidement sur le sol.

Les résultats de l'analyse des quatre eaux provenant de l'Oder, résultats qui se trouvent dans le tableau ci-après, méritent une attention spéciale. Ils nous montrent qu'entre

Composition, exprimée en milligrammes, que présentent, par litre, [cut off] *filtrées, employées comme* [cut off]

PROVENANCE.	Résidu total.	Perte à la calcination.	Chaux.	Acide sulfurique.	Chlore.
Eaux de source à					
Würzbourg.	920	132	317	331	10,6
Göttingen	829	84	229	282	14,2
Dantzig (Prangenau).	334	56	123	34	8,9
Münich	278	40	117	Traces.	5,2
Greiz	126	28	40	Traces.	10,6
Heidelberg.	46	10	6	0	Traces.
Eaux souterraines à					
Halle	612	28	152	152	61,4
Bonn	445	65	124	41	53,2
Kiel.	362	86	120	Traces.	24,8
Fürth	226	72	54	15	12,4
Plauen.	92	12	19	0	8,9
Remscheid.	42	8	8	Traces.	5,3
Eaux de rivière à					
Brême.	362	80	82	64	46,1
Oberhausen	330	80	67	84	67,5
Altona.	324	98	76	56	65,7
Brunswick	314	76	94	59	44,4
Stuttgart.	314	58	124	44	8,9
Stettin.	218	64	52	24	17,6
Posen	190	46	67	9	7,1
Francfort-a.-O.	157	84	36	14	8,9
Berlin	140	32	51	14	17,7
Ratibor	140	40	37	14	14,2
Breslau	112	26	29	17	10,6
Colmar en Alsace	46	10	10	Traces.	Traces.

[1] F. Fischer, *Das Wasser*, S. 20. — Eine Auswahl aus dem *Untersuchungen aus dem*

des eaux de source, des eaux souterraines et des eaux de surface, eaux potables [1].

Acide nitrique.	Ammoniaque.	Substances organiques.	NATURE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION OU ORIGINE.
9	0	1,1	Dolomite à cellules et anhydrite.
6	0	1,6	Muschelkalk.
0	0	6,7	Alluvion.
0	0	2,5	Molasse quaternaire sur eau douce.
10	0	2 4	Schiste argileux.
0	0	0.5	Grès bigarré.
2	Traces.	4,5	Argile et gravier de la Saale et de la vallée de l'Elster.
6	0	2,9	Diluvium de la vallée du Rhin.
0	0	6,9	Gravier dans du sable corallien.
13	0	1,2	Terrain keupérien.
0	Traces.	9,0	Schiste de Culm et grès.
0	0	4,3	Schiste de Lenne, Devonien supérieur, Schiste argileux, Grauwacke, Grès.
0	0	8,8	Weser.
5	Traces.	4,1	Ruhr.
0	Traces.	14.6	Elbe.
2	0	8,6	Ocker.
3	0	5,7	Neckar.
0	Traces.	21,2	Oder.
0	0	28 5	Warthe.
0	0	27,3	Oder.
0	Traces.	27,7	Sprée.
0	Traces.	21,9	Oder.
0	Traces.	12,6	Oder.
0	0	5 5	Logelbach.

chem. Laboratorium der Karlsruher techn. Hochschule, par Bunte.

Breslau et Stettin, l'eau de l'Oder devient moins pure, tandis qu'en amont de Breslau, elle est plus pure (plus douce) qu'à Ratibor. Ici, l'auto-épuration n'a pas encore suffisamment agi.

D'après leur teneur en matières minérales, on distingue les eaux de consommation en eaux dures et eaux douces.

La dureté d'une eau n'est pourtant pas proportionnelle à la quantité totale de substances minérales qu'elle contient. Mais le degré de dureté (en Allemagne) indique seulement, avec une approximation suffisante pour la pratique, combien de milligrammes de chaux et de magnésie existent dans 100,000 parties d'eau. Il en résulte qu'en décuplant le nombre de degrés de dureté que possède une eau, on obtient le nombre de milligrammes de chaux et de magnésie que contient 1 litre de cette eau. On admet qu'une eau dont la dureté dépasse 20° n'est plus potable.

Les analyses d'eaux de source, d'eaux souterraines et d'eaux de surface que nous avons reproduites plus haut, nous montrent que les substances minérales qu'elles contiennent sont relativement peu concentrées; tandis que les eaux minérales, que nous utilisons généralement comme eaux médicinales ou comme sources salines d'où nous extrayons le chlorure sodique, sont très concentrées.

Nous devons admettre que les sources minérales et les sources salines interviennent dans la minéralisation de nos cours d'eau à poissons.

S'il est vrai que nous ne voyons que rarement des sources de ce genre se déverser directement dans les cours d'eau, comme c'est le cas, par exemple, pour la source jaillissante de Tepel à Carlsbad, nous devons pourtant admettre qu'il y en a certainement un grand nombre qui, formant des sources souterraines à nous inconnues, se jettent dans nos rivières. Il en est d'autres dont les eaux se déverseraient souvent dans les rivières, si l'homme, à dessein, ne les en empêchait, en partie tout au moins. C'est le cas encore pour les sources et fontaines que l'on fait jaillir en pratiquant des forages et qui, sans cela, s'écouleraient dans les rivières.

La médecine[1] classe ces eaux en diverses catégories : eaux alcalines (qui contiennent une forte proportion d'acide carbonique et de bicarbonates en solution); eaux alcalino-muriatiques ou alcalino-salines (qui contiennent, en outre, de fortes doses de chlorure sodique); eaux amères; sources sulfureuses; sources ferrugineuses; sources salées potables; sources salées, etc.

De tous les éléments que renferment, d'ailleurs en proportions très variables, les eaux de ces différentes catégories, seuls nous intéressent ceux qui, contenus à fortes doses dans les sources, persistent dans nos cours d'eau, c'est-à-dire les sels qui entrent dans la composition de l'eau de mer. Sans nous occuper des composés plus rares ou qui n'existent qu'en minimes quantités, nous ferons cependant ressortir le fait que ces sources concentrées peuvent subir dans leur constitution des variations essentielles. C'est ainsi que pour l'eau de Kaiserbrunnen, à Hombourg, Liebig a trouvé, en 1843, 19 grammes de résidu par litre, tandis qu'en 1855, Hoffmann n'en constatait plus que 17 grammes et Fresenius, en 1858, 9 grammes seulement.

Nous donnons un choix d'analyses de ces sources dans les tableaux ci-après, pages 236-238.

Nous avons dit déjà que les analyses de ces tableaux n'ont porté que sur les éléments essentiels, c'est-à-dire sur ceux dont la teneur est d'environ 1 °/₀₀. Néanmoins, il peut être utile de démontrer, ne fût-ce que par un exemple, combien est complexe la composition de ces sources. Nous transcrirons dans ce but les résultats de deux analyses complètes d'eaux salées potables, qu'à publiées R. Fresenius.

Ces analyses nous donnent une idée intéressante des nombreuses substances de l'écorce terrestre, que dissout l'eau. Elles nous montrent en même temps qu'il n'y a pas que les températures élevées qui provoquent la dissolution de sels si

[1] Nous empruntons ces indications à la *Balnéothérapie* du Dr TH. VALENTINERS.

SOURCES D'EAUX MINÉRALES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Chlorure sodique. Grammes.	Sulfate sodique. Grammes.	Bicarbonate sodique. Grammes.	Acide carbonique libre. Centim. cubes.	Température. Degrés cent.
Eaux alcalines.						
Eau de Facking	5,55	0,63	»	3,58	945	10 à 11
Eau de Vichy (Célestins)	7,19	0,53	0,29	5,10	532	12,0
Salzbrunn (Oberbrunnen)	4,12	0,17	0,48	2,42	630	7,5
Eaux alcalino-muriatiques.						
Szczawnica (source Magdalen)	15,15	4,61	0,02	8,45	711	11,4
Selters	4,44	2,33	»	1,24	1204	16,0
Ems (4 sources)	3,52 à 3,60	0,93 à 1,03	0,01 à 0,04	1,98 à 2,05	448 à 599	35 à 50
Eaux alcalino-salines.						
Marienbad { Source Ferdinand	10,61	2,00	5,05	1,82	1127	9,0
Marienbad { Kreuzbrunnen	11,10	1,70	4,95	1,66	552	11,8
Tarasp. . { Source Lucius	15,79	3,67	2,10	5,46	1060	6,7
Tarasp. . { Source Emmerita	15,82	3,68	2,04	5,48	1034	6,7
Carlsbad. { Mühlbrunnen	6,11	1,02	2,34	2,00	180	52,5
Carlsbad. { Sprudel (source jaillissante de Tepel)	6,19	1,03	2,37	1,93	104	73,3

SOURCES AMÈRES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Sulfate magnésique. Grammes.	Chlorure magnésique. Grammes.	Sulfate sodique. Grammes.	Chlorure sodique. Grammes.	Sulfate calcique Grammes.	Acide carbonique libre. Centim. cubes.	Température. Degrés cent.
Saxlehner. Hunyadi Janos . . .	41,73	18,44	»	19,16	1,42	»	217	7 à 13
Friedrichshall	25,29	5,15	3,93	6,06	7,95	1,34	166	»
Kissingen	25,30	5,14	3,93	6,05	7,95	1,34	184	»

SOURCES SULFUREUSES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Sulfure sodique. Grammes.	Sulfure calcique. Grammes.	Chlorure sodique. Grammes.	Chlorure calcique. Grammes.	Sulfate calcique. Grammes.	Acide sulfhydrique libre. Centim. cubes.	Température. Degrés cent.
Herkulesbad	7,19	0,080	»	3,81	2,77	»	42,6	42 à 44
Nenndorf	2,63	»	0,07	»	»	1,01	42,3	12
Meinberg.	1,69	0,009	»	0,08	»	0,83	23,1	9 à 16

SOURCES-FERRUGINEUSES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Fer. Grammes.	Manganèse. Grammes.	Acide carbonique libre. Centimètres cubes.	Température. Degrés centigr.
Alexisbad. { Alexisbrunnen . .	0,51	0,045 (*)	0,025 (*)	294	8,7
Alexisbad. { Selkebrunnen. . .	0,48	0,056 (**)	0,025 (**)	»	11,8
Bad Elster, 5 sources.	1,4 à 6,1	0,058 à 0,086 (*)	0,015 à 0,026 (*)	878 à 1311	9 à 10

(*) A l'état de bicarbonate. — (**) A l'état de sulfate.

SOURCES D'EAUX MINÉRALES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Chlorure sodique. Grammes.	Sulfate sodique. Grammes.	Bicarbonate sodique. Grammes.	Acide carbonique libre. Centim. cubes.	Température. Degrés cent.
Eaux alcalines.						
Eau de Facking	5,55	0,63	»	3,58	945	10 à 11
Eau de Vichy (Célestins)	7,19	0,53	0,29	5,10	532	12,0
Salzbrunn (Oberbrunnen).	4,12	0,17	0,48	2,42	630	7,5
Eaux alcalino-muriatiques.						
Szczawnica (source Magdalen).	15,15	4,61	0,02	8,45	711	11,4
Selters	4,44	2,33	»	1,24	1204	16,0
Ems (4 sources)	3,52 à 3,60	0,93 à 1,03	0,01 à 0,04	1,98 à 2,05	448 à 599	35 à 50
Eaux alcalino-salines.						
Marienbad { Source Ferdinand	10,61	2,00	5,05	1,82	1127	9,0
Marienbad { Kreuzbrunnen	11,10	1,70	4,95	1,66	552	11,8
Tarasp. . { Source Lucius	15,79	3,67	2,10	5,46	1060	6,7
Tarasp. . { Source Emmerita.	15,82	3,68	2,04	5,48	1034	6,7
Carlsbad. { Mühlbrunnen.	6,11	1,02	2,34	2,00	180	52,5
Carlsbad. { Sprudel (source jaillissante de Tepel).	6,19	1,03	2,37	1,93	104	73,3

SOURCES AMÈRES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels.	Sulfate magnésique.	Chlorure magnésique.	Sulfate sodique.	Chlorure sodique.	Sulfate calcique	Acide carbonique libre.	Température.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Centim. cubes.	Degrés cent.
Saxlehner. Hunyadi Janos . . .	41,73	18,44	»	19,16	1,42	»	217	7 à 13
Friedrichshall	25,29	5,15	3,93	6,06	7,95	1,34	166	»
Kissingen	25,30	5,14	3,93	6,05	7,95	1,34	184	»

SOURCES SULFUREUSES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels.	Sulfure sodique.	Sulfure calcique.	Chlorure sodique.	Chlorure calcique.	Sulfate calcique.	Acide sulfhydrique libre.	Température.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Centim. cubes.	Degrés cent.
Herkulesbad	7,19	0,080	»	3,81	2,77	»	42,6	42 à 44
Nenndorf	2,63	»	0,07	»	»	1,01	42,3	12
Meinberg.	1,69	0,009	»	0,08	»	0,83	23,1	9 à 16

SOURCES FERRUGINEUSES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels.	Fer.	Manganèse.	Acide carbonique libre.	Température.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.	Centimètres cubes.	Degrés centigr.
Alexisbad. { Alexisbrunnen . .	0,51	0,045 (*)	0,025 (*)	294	8,7
Alexisbad. { Selkebrunnen. . .	0,48	0,056 (**)	0,025 (**)	»	11,8
Bad Elster, 5 sources.	1,4 à 6,1	0,058 à 0,086 (*)	0,015 à 0,026 (*)	878 à 1311	9 à 10

(*) A l'état de bicarbonate. — (**) A l'état de sulfate.

SOURCES SALÉES. — Un litre contient :	Quantité totale de sels. Grammes.	Chlorure sodique. Grammes.	Sulfate calcique. Grammes.	AUTRES SELS. Grammes.
Rheinfelden	318,8	311,6	5,9	
Salzungen	265,1	256,6	3,5	2,7 chlorure magnésique.
Jaxtfeld	262,3	255,8	5,7	
Frankenhausen	258,9	248,2	5,2	3,4 chlorure magnésique. 1,8 sulfate potassique.
Rosenheim	237,1	226,4	3,6	2 2 chlorure magnésique. 4,1 sulfate sodique.
Sulza (Beustquelle)	107,0	98,7	1,4	5,1 sulfate sodique.
Juliushall	69,8	66,5	0,8	1,1 sulfate magnésique.
Colberg	51,0	43,6	»	4,4 chlorure calcique. 2,1 chlorure magnésique.
Pyrmont	40,4	32,0	5,4	1,3 chlorure magnésique. 1,6 bicarbonate calcique.
Nauheim. Friedrich Wilhelm	35,4	29,3	»	1,1 chlorure potassique. 3,3 chlorure calcique. 2,6 bicarbonate calcique.
Nauheim. Grosser Sprudel	26,4	21,8	»	1,7 chlorure calcique. 2,4 bicarbonate calcique.
Nauheim. Kleiner Sprudel	21,2	17,1	»	1,3 chlorure calcique. 2,1 bicarbonate calcique.
Dürkheim	16,7	12,7	»	3,0 chlorure calcique.
Münster a. Str	9,9	7,9	»	1,4 chlorure calcique.

divers, mais qu'une température de 12°C, voisine de notre température moyenne, suffit, comme c'est le cas pour l'eau de Ludwigsbrunnen, pour dissoudre à peu près les mêmes quantités de sels que l'eau de Kochbrunnen, qui pourtant est à 70°C. environ, quand elle jaillit à la surface du sol. (Voir le le tableau page 240.)

Les eaux minérales dont nous venons de donner la composition, ne peuvent et ne doivent naturellement pas être considérées comme des eaux à poissons. La haute température de certaines d'entre elles s'y oppose, sans compter les grandes proportions de sels et d'acide carbonique qu'elles contiennent et qui rendraient impossible toute vie animale. Il en est de même pour les sources sulfureuses; elles contiennent non seulement du sulfide hydrique libre, mais encore des sulfures métalliques qui, sous l'action de l'anhydride carbonique de l'air, se décomposent en mettant en liberté de nouvelles quantités de ce gaz délétère. Les sels de fer et de manganèse que renferment les sources ferrugineuses produiraient un effet semblable sur le poisson. Nous n'en avons parlé ici que pour faire ressortir que ces eaux contribuent à augmenter la teneur en sels de nos cours d'eau à poissons.

On pourrait s'étonner que les analyses d'eaux minérales, et notamment les deux analyses complètes d'eaux salées potables que nous avons transcrites, renseignent une série d'éléments dont il n'est pas fait mention dans les analyses d'eaux de rivière, et l'on serait en droit de se demander où restent ces substances.

La plupart d'entre elles — et j'ai surtout en vue les métaux lourds, le fer par exemple, — se réduisent jusqu'à ne plus exister qu'en traces minimes, sous l'action de l'anhydride carbonique de l'air, ou bien, après avoir été oxydées par l'oxygène de l'air, elles restent dans la vase du cours d'eau. D'autres se transforment par des processus chimiques, se précipitent comme c'est le cas pour la chaux, par exemple, et se déposent aussi dans la vase. D'autres encore persistent dans l'eau, mais s'y trouvent raréfiées au point que nos méthodes analytiques

habituelles ne peuvent en déceler la présence, tandis qu'elles peuvent être aisément décelées et dosées dans l'eau de mer, comme c'est le cas pour les iodures et les bromures qui s'y trouvent jusqu'à un certain point concentrés par accumulation.

SOURCES SALÉES POTABLES. — Un litre contient :	WIESBADEN Kochbrunnen. Grammes.	HOMBURG Ludwigsbrunnen Grammes.
Chlorure sodique	6,83565	5,11920
Chlorure potassique	0,14580	0,23551
Chlorure magnésique	0,20391	0,37430
Chlorure calcique	0,47099	0,46852
Chlorure ammonique	0,01672	0,00511
Chlorure lithique	0,00018	0,01036
Bromure magnésique	0,00355	0,00056
Iodure magnésique	»	0,00001
Sulfate calcique	0,09022	0,01248
Sulfate barytique	»	0,00270
Nitrate potassique	»	0,00277
Carbonate magnésique	0,01039	0,02922
Carbonate calcique	0,41804	0,79643
Carbonate ferreux	0,00565	0,01062
Carbonate manganeux	0,00059	0,00123
Phosphate calcique	0,00390	0,00051
Arséniate potassique	0,00015	»
Silicate aluminique	0,00051	»
Acide silicique	0,05992	0,01236
Total des éléments fixes	8,26266	7,08189
Acide carbonique libre, cent. cubes	200,5	1414,9
Acide carbonique libre et demi-combiné	3,2	1612,5
Température	68°75 C.	11°9 C.
Poids spécifique	1,006660	1,006944

Dans les eaux de rivières restent uniquement, en quantités dignes d'être signalées, les sels que nous connaissons comme constituant les éléments caractéristiques de l'eau de mer, et cela surtout parce qu'ils ne peuvent réagir les uns sur les autres pour former des composés insolubles. Ces réactions s'effectuent essentiellement sur le trajet de la rivière, pour autant qu'elles soient possibles entre les éléments de l'écorce terrestre que l'eau de source a dissous. Ces réactions chimiques font partie des phénomènes d'autoépuration, qui comprennent, en outre, des processus biologiques, etc.

Au reste, si concentrées que soient certaines sources, les quantités de substances minérales qu'elles contiennent sont insignifiantes, si on les compare aux quantités énormes de sels solubles et de matières en suspension qui sont soustraites au sol ou aux roches par l'action de l'eau et qui, pourtant, ne passent dans nos cours d'eau et nos lacs que dans un état de concentration minime.

Nous avons donné, dans les pages qui précèdent, quelques analyses d'eaux de rivière: mais les valeurs qui s'y trouvent indiquées ne sont pas constantes pour un même cours d'eau, elles varient beaucoup avec les saisons et avec le niveau de l'eau. Il en est naturellement de même pour les substances en suspension.

C'est surtout dans les rivières à cours rapide que ces différences sont sensibles, tant en ce qui touche les substances visibles (en suspension) que les subtances invisibles (sels). Dans les cours d'eau à courant peu rapide, tels que la Sprée à Berlin, ces variations sont à peine marquées.

Je transcrirai ici les résultats d'analyses d'eau de la Sprée, dont les échantillons ont été prélevés au château d'eau de Stralau pendant dix-huit mois. Ces chiffres n'indiquent que le résidu sec total, obtenu sans filtration, et ils expriment en milligrammes la somme des impuretés que contient 1 litre d'eau [1].

[1] G. Wolfhügel, *Arbeiten aus dem Kaiser. Gesundheidsamt*, Bd I, S. 11 ; travaux continués à partir de juin 1885 par C. Pflugge et B. Proskauer, *Zeitschrift für Hygiene*, 1887, Bd II, S. 434.

DATE DE LA PRISE D'ÉCHANTILLON.	MOYENNE. mgr.	MAXIMUM. mgr.	MINIMUM. mgr.
1884. Juillet	183,5	186,5	182,5
Août.	178,1	187,5	172,5
Septembre	188,9	192,5	182,5
Octobre	184,4	194,0	182,5
Novembre	187,8	195,0	181,0
Décembre	187,5	200,0	177,5
1885. Janvier	179,8	181,0	178,5
Février.	186,9	193,0	182,5
Mars.	173,4	174,5	172,5
Avril.	178,2	187,5	172,0
Mai	183,9	185,0	181,5
Juin.	180,0	197,0	172,5
Juillet.	199,0	202,5	195,0
Août.	202,7	206,0	197,5
Septembre.	204,1	210,0	200,0
Octobre	211,2	220,0	205,0
Novembre	199,4	217,5	185,0
Décembre	202,0	212,0	192,5

Les variations que présente dans sa composition l'eau de la Sprée à Berlin, aux différents mois de l'année, sont, comme on le voit, très peu considérables. Nous constatons en même temps que les chiffres ne concordent pas parfaitement pour les mêmes mois d'années différentes.

A Strasbourg, l'eau du Rhin n'offre aussi que des variations peu importantes, en ce qui concerne la somme totale de ses impuretés. Ce fait s'explique peut-être par cette circonstance, qu'à partir de Bâle le fleuve ne reçoit sur sa rive gauche que très peu d'affluents importants. L'Ill reçoit les cours d'eau des Vosges et, sur la rive droite, ce n'est qu'en aval de Kehl que le Kinzig amène au Rhin une partie très considérable des

matières insolubles provenant de la région supérieure de la Forêt Noire. Sur son parcours de 140 kilomètres environ, entre Bâle et Kehl, l'eau du Rhin, qui n'est influencée que par l'eau de l'Elz qu'elle reçoit, sur la rive droite, à 40 kilomètres en amont de Strasbourg, a le temps de se mélanger parfaitement même avec l'eau de l'Elz, ainsi qu'avec les puissantes sources souterraines qui ont été maintes fois observées. Elle y est, en outre, aidée puissamment par une énergique autoépuration physico-chimique.

La valeur des matières en suspension offre toutefois de plus grandes variations, surtout lors des hautes eaux du début de l'été. (Voir le tableau p. 244.)

Plus en aval, à Mayence, les différences que l'on constate en ce qui concerne les substances en suspension, selon le niveau des eaux du Rhin, sont pourtant beaucoup plus marquées. C'est ainsi que E. Egger[1] a trouvé le 23 mars 1886, à haute eau, 249 milligrammes de substances en suspension et 246 milligrammes de substances dissoutes; le 1er juin 1886, à basse eau, 12 milligrammes de substances en suspension et 203 milligrammes de substances dissoutes.

Ces variations sont aussi très considérables pour les eaux du Neckar (voir le tableau p. 245), dont le cours est rapide; elles sont plus accentuées, en ce qui concerne les substances en suspension du moins, pour l'eau du Danube à Vienne (voir le tableau p. 246).

Quand ses eaux sont à leur niveau moyen, le Danube charrie donc à Vienne 15,000 tonnes de substances en suspension et 25,000 tonnes de substances en solution, dans l'espace de vingt-quatre heures.

Mais la teneur en substances solubles de nos cours d'eau ne varie pas seulement selon les jours et les saisons, selon que les eaux sont hautes ou basses; elle varie encore, à la même saison, selon les années, ainsi que nous l'avons vu déjà en parlant des eaux de source du Fichtel et des eaux de la Sprée.

[1] *Fischers Jahrbuch,* 1887, S. 1120.

Eau du Rhin puisée au pont de Kehl. Les échantillons, prélevés en neuf points différents, ont été mélangés[1].

MILLIGR. PAR LITRE D'EAU.	15 mars 1893.	17 avril 1893.	20 mai 1893.	26 juin 1893.	25 juillet 1893.	30 août 1893.	26 septemb. 1893.	31 octobre 1893.	30 novemb. 1893.	29 décembre 1893.	31 janvier 1894.	3 mars 1894.
Résidu sec	198,0	190,0	189,0	223,6	191,4	182,0	180,0	184,0	202,0	192,0	194,0	194,0
Matières en suspension	14,0	8,0	7,6	54,6	31,4	13,0	13,0	10,0	18,0	7,0	1,0	8,0
Substances organ. non filtrées.	5,6	5,3	5,7	8,7	7,2	5,0	11,2	11,1	9,2	5,2	5,3	9,8
Chaux	76,0	77,0	73,6	77,0	72,0	64,8	64,6	64,6	71,6	72,0	75,0	71,0
Magnésie	12,5	11,5	12,4	11,7	11,0	12,0	10,8	12,6	11,5	13,1	12,8	11,5
Acide sulfurique	25,7	20,9	16,3	18,1	18,8	20,4	20,6	22,9	20,9	19,9	21,0	23,6
Chlore	7,1	3,6	3,0	1,8	1,4	2,4	2,5	3,8	5,1	5,3	4,7	3,9

[1] C. AMTHOR et J. ZINK, *Untersuchungen des Rheinwassers*. D'après un tiré à part (p. 8) que m'ont gracieusement envoyé les auteurs. Les échantillons ont été prélevés sur les deux rives et au milieu du fleuve et à des profondeurs différentes, à la surface, au fond et entre les deux.

G. Bischof a constaté le même fait pour les eaux du Rhin à Bonn. En mars 1851, il a trouvé 112mgrs3 de résidu sec par litre d'eau, tandis qu'en mars 1852, ce résidu était de 170mgrs8 dans des échantillons prélevés au même endroit.

Eau du Neckar [1], analysée en 1888, en amont de Gaisburg.

MILLIGR. PAR LITRE D'EAU.	13 mars.	24 avril.	29 juin.	20 août.	29 septemb.
Substances dissoutes	272	382	400	397	440
Chaux	100	130	134	136	125
Magnésie	18	30	29	15	34
Acide sulfurique	33	79	90	91	94
Chlore	13	16	14	14	18
Acide nitrique	Traces	2	3	4	4
Ammoniaque	Traces	5	Traces.	Traces.	Traces.
Substances organiques . . .	17	8	12	9	25

Matières en suspension : en mars, 373 ; en septembre, 65 mgrs.

La teneur varie encore selon l'endroit où l'on opère la prise d'échantillon. Au voisinage des rives elle est autre qu'au milieu du fleuve, car les affluents, ruisseaux et rivières contiennent fréquemment d'autres proportions de sels que le cours d'eau principal, et ce n'est souvent qu'à plusieurs kilomètres en aval de leur embouchure que ces différences disparaissent, par suite du mélange progressif des eaux. Nous y reviendrons plus loin.

Quelques chiffres démontreront le bien-fondé de cette assertion [2]. Ils établissent les différences que présentent dans leur composition les eaux de la rivière principale et celles de ses affluents; ils montrent, en outre, comme nous l'avons dit plus

[1] A. Klinger. D'après F. Fischer, *Das Wasser*, 1891, II. Aufl., S. 26.
[2] E. Späth, *Mittheilungen aus dem pharm. Institut.* Erlangen, 1889.

Eau du Danube, en amont de Vienne [1].

MILLIGR. PAR LITRE D'EAU.	PRINTEMPS.	ÉTÉ.	AUTOMNE.	HIVER.
Substances en suspension.				
Quantité totale	121,9	165,4	76,5	14,8
Perte par calcination	7,9	7,2	2,1	0,3
Sable et argile	63,0	81,6	38,9	7,3
Substances dissoutes.				
Résidu total	177,1	146,0	178,6	199,0
Chaux	60,8	54,3	64,3	71,0
Magnésie.	17,6	12,8	17,5	19,9
Oxyde ferreux	0,4	0,5	0,2	0,2
Soude	4,9	2,8	3,6	4,0
Potasse	1,7	1,6	2,4	2.0
Acide sulfurique	11,8	10,6	12,3	15,4
Chlore.	3,4	1,6	1,8	2,4
Acide nitrique	2,0	1,3	1,3	2,4
Acide silicique	5,4	3.9	4,8	5 2
Acide carbonique (combiné) .	62,1	52,4	65,2	70,0
Substances organiques. . . .	7,0	4,2	5.2	5,9

haut en parlant de l'Oder, que la quantité d'impuretés augmente en aval de leur confluent.

MILLIGR. PAR LITRE.	Résidu total.	Chaux.	Magnésie.	Chlore.	Acide sulfurique.
Mein blanc	141	40	9	7	17
Mein rouge	215	65	19	9	24
Mein (au confluent des cours d'eau précédents).	160	47	13	7	19
Mein à Offenbach.	235	76	27	11	52

[1] J.-A. WOLFBAUER. D'après F. FISCHER, *Das Wasser*, S. 26.

Les cours d'eau dont il est question dans ce tableau ne diffèrent que peu, tant en ce qui concerne la quantité totale des substances qu'ils renferment qu'en ce qui regarde les proportions des diverses substances. Le cas est tout autre dans les régions salines.

La Saale avec la foule de ses sources salines, tant souterraines que superficielles, nous en fournit un exemple typique, comme nous l'apprennent les chiffres du tableau ci-après (p. 248.)

Si on la compare à l'eau du Rhin, par exemple, l'eau de l'Elbe n'est pas surchargée de matières étrangères. Mais il n'en est pas de même pour l'eau de la Saale. En réalité pourtant, la totalité des sels que contient l'eau de la Saale ne doit pas être considérée comme une « impureté naturelle ». Une partie très importante provient de la « galerie collective » des eaux minières de la Société de Mansfeld, et une autre partie, très notable aussi, est amenée par le Bode, qui reçoit les eaux résiduaires de fabriques de potasse.

Néanmoins, en amont de ces affluents, la Saale reçoit aussi, en plusieurs points de son trajet et par la voie naturelle, d'importantes quantités de sels, amenées par des sources salines. Au fond de la rivière, l'eau en contient de 5 à 7 °/₀, tandis que les couches superficielles, jusqu'à 50 centimètres de profondeur au moins, ne renferment pour ainsi dire pas de chlorure sodique, sur une étendue de plusieurs kilomètres [1]. Nous n'avons pas à nous occuper spécialement ici de ces questions de contamination, mais uniquement de la lenteur avec laquelle s'opère le mélange d'impuretés quelconques. C'est ce que nous pouvons faire en examinant de plus près les relations qui existent entre la Saale et l'Elbe.

Les chiffres mentionnés dans le tableau page 248 sont très instructifs à ce point de vue, parce qu'ils prouvent combien les sels sont irrégulièrement répartis dans les eaux de l'Elbe.

[1] D'après les documents statistiques de la Société de Mansfeld, que j'ai été autorisé à utiliser.

Eau de l'Elbe entre l'embouchure de la Saale et Magdebourg [1].

LIEU DE LA PRISE D'ÉCHANTILLON. — Milligrammes par litre.		Matières en suspension.	Résidu sec.	Perte à la calcination.	Chaux.	Magnésie.	Acide sulfurique.	Chlore.
La *Saale* à 1 kilomètre environ en amont de son embouchure dans l'Elbe.	Rive gauche	24	822	130	77	47	137	320
	Rive droite	21	827	132	84	46	140	310
L'*Elbe* à 1 kilomètre environ en amont de l'embouchure de la Saale.	Rive gauche	16	135	42	15	»	52	12
	Rive droite	10	132	42	15	»	56	12
L'*Elbe* en amont de Barby.	Rive gauche	16	540	122	61	32	133	192
	Au milieu du fleuve.	20	207	67	23	»	64	50
	Rive droite	9	137	50	15	»	52	14
L'*Elbe* à Frohse	Rive gauche	12	425	155	38	22	76	126
	Au milieu du fleuve.	12	287	92	31	15	60	88
	Rive droite	12	262	140	15	»	52	40
L'*Elbe* à Buckau. La prise d'échantillon a eu lieu au château d'eau.	Rive gauche	9	392	102	46	16	76	122
	Au milieu du fleuve.	11	405	130	31	20	68	122
	Rive droite	13	355	215	31	»	64	88

[1] OHLMÜLLER, *Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamt*, Bd VI, S. 319.

Ils nous montrent très nettement que ces eaux restent chargées de sels sur une étendue de plusieurs lieues, c'est-à-dire, sur la rive où débouche la Saale, et qu'elles ne se mêlent que très lentement avec les autres eaux que charrie le fleuve.

Ils nous montrent en même temps que sur la rive droite se déversent des impuretés de nature organique — rejetées par des fabriques de sucre — et que ces impuretés ne se mêlent aussi que lentement aux autres eaux du fleuve.

Nous avons dit précédemment qu'il existe aussi des différences entre la composition des eaux des couches profondes et celle des couches superficielles. A ce sujet, la Saale nous offre un exemple très instructif.

A 130 mètres en amont du barrage, à Rothenburg, l'eau de la Saale contient, au milieu de la rivière :

A la surface.	1887	milligr. de chlorure,	soit	3,3 °/₀	de chlorures.
A 0m5 de profondeur .	2097	—	—	3,7 °/₀	—
A 1 mètre —	2586	—	—	4,6 °/₀	—
A 1m5 —	3565	—	—	6,3 °/₀	—
A 2 mètres —	3914	—	—	6,6 °/₀	—
A 2m5 —	4054	—	—	7,2 °/₀	—
A 3m5 —	4124	—	—	7,3 °/₀	—
A plus de 5 m. —	4124	—	—	7,3 °/₀	—

Les eaux chargées de sels se stratifient d'après leur densité. Leur mélange ne devient que très lentement et progressivement uniforme. Comme les sels, les substances insolubles en suspension se stratifient naturellement aussi dans les cours d'eau qui coulent lentement.

On sait qu'indépendamment des eaux de source, des ruisseaux et des rivières, les étangs et les lacs constituent aussi des eaux à poissons.

Nous pourrions nous attendre à ce que les énormes masses d'eau des grands lacs présentent une certaine uniformité dans leur teneur en sels solubles, sauf au voisinage de leurs affluents, quand ils sont traversés par de grandes rivières, comme c'est le cas, par exemple, pour le lac de Constance. Il devrait en être de même, en ce qui concerne du moins les eaux qui se

trouvent en leur milieu, pour les lacs qui constituent des bassins collecteurs de plusieurs petits cours d'eau.

Cependant l'aspect extérieur de ces eaux, leur couleur, est d'habitude si différent au Nord et au Sud, qu'il était, *a priori*, très intéressant de faire une étude comparative de la composition chimique de leurs sels nutritifs et de leur teneur en substances insolubles. Cette étude s'imposait d'autant plus que les recherches ichthyologiques dont ces lacs ont fait l'objet démontrent qu'en raison des espèces spéciales qui vivent dans leurs eaux, leur composition chimique doit présenter des variations essentielles.

De même, il serait très intéressant d'étudier la composition chimique des ruisseaux et des rivières dont les eaux ne sont pas encore profondément modifiées par des résidus industriels, car il n'est pas douteux qu'elle ne constitue *un* des facteurs de la diversité qu'offre la faune ichthyologique de ces eaux dans nos régions septentrionales, dans nos régions méridionales, dans nos plaines et nos montagnes.

On pourrait donc s'attendre à trouver dans la littérature une foule d'analyses de notre sol et de nos cours d'eau naturels non contaminés. Chose surprenante, ce n'est pourtant pas le cas.

Nous avions projeté de relater ici un grand nombre d'analyses de diverses eaux à poissons. En dépit de nos minutieuses recherches bibliographiques, nous en avons trouvé si peu que nous avons dû abandonner notre projet. Nous n'avons pourtant pas manqué de demander aussi des analyses originales aux institutions qui nous semblaient pouvoir nous en fournir [1].

[1] Profitant de mes relations avec les stations agricoles expérimentales, j'ai cherché à obtenir de mes collègues des analyses inédites de cours d'eau à poissons. A peu d'exceptions près, et bien que j'aie rencontré partout un empressement auquel je me plais à rendre hommage, ma tentative n'a pas été couronnée de succès. Il existait bien de très nombreuses analyses d'eaux de source (il y en a beaucoup aussi de publiées) ainsi que des analyses de cours d'eau pollués. Mais les hommes qui s'intéressent aux pêcheries ne m'ont que très exceptionnellement fourni des analyses de cours d'eau naturels non contaminés.

Des publications nous fournissent bien les résultats d'une série d'analyses d'eaux de rivières et de ruisseaux. Mais leur nombre n'est pas suffisant pour qu'on en puisse déduire des conclusions utiles aux pêcheries. Ces analyses sont d'ailleurs loin de répondre aux besoins actuels de nos pêcheries.

Indépendamment d'une étude, malheureusement incomplète, des eaux du lac de Constance, je ne puis relater, en fait d'analyses absolument irréprochables, que celles de cinq lacs des montagnes bavaroises [1]. Je transcrirai, en outre, une série d'analyses d'eaux de lacs de l'Allemagne orientale et de l'Allemagne septentrionale [2] et *une seule* analyse d'eau d'étang. Mais ces dernières sont malheureusement incomplètes.

Il serait désirable que cette situation ne tarde pas à changer; car il est indéniable que ces études répondraient à une nécessité scientifique aussi bien que pratique. Les analyses des eaux des lacs bavarois, que nous avons signalées tantôt, constituent, à cet égard, un modèle utile.

On pourrait objecter, il est vrai, que l'agriculture pratique n'a guère d'intérêt à connaître les résultats d'une analyse du sol. Nous répondrons que la science agronomique a tiré des milliers d'analyses qui avaient été faites, maints renseignements utiles à la pratique agricole; les analyses du sol ont donc incontestablement servi à provoquer des recherches scientifiques.

Or, la composition chimique des cours d'eau à poissons exerce, sans aucun doute, une influence directe sur la flore aquatique, qui, comme nous le savons, est, à son tour, un facteur essentiel, dont l'action est utile ou nuisible, selon le cas, à nos poissons.

C'est seulement quand nous posséderons un nombre suffi-

[1] E. STRASSNER, *Beitrag zur Hydrographie Oberbayerns. Forschungsberichte über Lebensmittel und the Beziehungen zur Hygiene, etc.*, 1896, Bd III, S. 89.

[2] D'après une note originale que m'a fournie M. le Prof[r] D[r] G. KLIEN, de Königsberg.

sant de documents scientifiques concernant la nature chimique de nos cours d'eau que nous pourrons sans hésitation comprendre maints phénomènes, pour le moment énigmatiques, concernant la flore aquatique et, par conséquent, aussi les animaux inférieurs, dont l'existence dépend de cette dernière et qui, à leur tour, servent de nourriture aux poissons. Ce que

Lacs alpins.

UN LITRE D'EAU CONTIENT :	Lac de Constance [1]. Milligr.	Lac de Starnberg. Milligr.	Lac de Kochel. Milligr.	Lac de Walchen. Milligr.	Lac de Bader. Milligr.	Lac d'Eib. Milligr.
Matières en suspension	1,6	—	—	—	—	—
Résidu sec	171,8	148,50	188,02	140,00	158,78	126,00
Matières organiques	0,8	—	—	—	—	—
Soude	17,9	1,10	1,21	1,22	1,13	1,17
Potasse	2,3	1,06	1,15	1,17	1,10	1,12
Magnésie	11,1	21,13	14,75	18,00	15,60	14,68
Chaux	62,6	52,05	79,37	50,60	61,00	48,21
Oxyde ferreux	—	0,19	0,17	0,58	0,90	0,81
Alumine	—	1,04	0,98	2,19	1,75	1,65
Ammoniaque	0	—	—	—	—	—
Acide silicique	2,0	5,00	1,57	1,28	1,35	1,20
— sulfurique	22,1	8,31	26,18	7,59	12,19	7,79
— phosphorique	0	—	—	—	—	—
— nitreux	0	—	—	—	—	—
— nitrique	0	—	—	—	—	—
Chlore	0,4	2,47	2,62	2,54	2,36	2,64
Acide carbonique	—	128,05	151,00	120,00	119,00	108,00

[1] *Bodenseeforschungen. Untersuchung von Wasser- und Grundproben* von H. Bauer und H. Vogel, 1894, Heft XXIII, S. 7, d'après C. Schröter et O. Kirchner. *Die Vegetation des Bodensees*, S. 12. Les calculs ont en partie été refaits par moi.

la chimie agricole a pu produire, la chimie aquicole le peut aussi. Mais pour le moment elle attend encore son fondateur et le premier laboratoire consacré à son étude n'est pas encore créé [1].

Ainsi que nous le montre la première série d'analyses (lacs bavarois) dont nous transcrivons les résultats page 254, les chiffres que fournit E. Strassner pour les divers constituants se rapportent à leurs combinaisons : il les a calculés d'après les résultats de ses analyses [2].

[1] Nous ne manquerons pas d'insister sur ce fait, qu'une série d'excellentes études de chimie hydrologique ont été publiées au point de vue géologique. Tel est, par exemple, l'important travail de A. SCHWAGER sur les eaux de source et de rivière du Fichtel, où nous avons puisé des documents que nous avons utilisés plus haut; tels encore le travail de REGELMANN sur les eaux de source du Würtemberg, les recherches de FRIED. PECHER sur les eaux des roches stratifiées de la Basse-Franconie, etc. Mais ces publications ne fournissent malheureusement aucune donnée utile aux pêcheries et aux questions qui nous intéressent ici. C'est ainsi que SCHWAGER, par exemple, a totalement omis de s'occuper des gaz en solution dans l'eau, ce qui est regrettable.

[2] Cette façon d'exprimer les résultats d'analyses ne peut s'appliquer qu'aux analyses « complètes ». Pour chacun des essais qu'il a faits, STRASSNER devait évaporer deux fois 10 litres d'eau, afin de recueillir une quantité de sels qui lui permît d'effectuer une analyse exacte. Or, cette quantité totale des sels ainsi obtenue était encore insuffisante pour évaluer quantitativement l'acide phosphorique et pour calculer, à l'état de combinaisons, l'alumine et l'acide silicique.

Il serait désirable que les analyses d'eaux à poissons fournissent, pour les divers constituants, deux séries de chiffres : l'une indiquant leurs valeurs à l'état non combiné, telles que les donne l'analyse; l'autre les indiquant calculées à l'état de combinaisons, bien que ce dernier mode d'évaluation prête quelque peu à l'arbitraire, attendu qu'on est toujours en droit de supposer qu'avec des changements de température et d'éclairage, il se produit des doubles décompositions.

Cette dernière façon d'exprimer les résultats des analyses est certes plus compréhensible pour le vulgaire. Mais, d'autre part, il faut employer l'autre pour les analyses incomplètes que nous possédons actuellement, si nous voulons pouvoir établir une comparaison immédiate entre les résultats qu'elles nous fournissent.

STRASSNER, en traduisant à l'état de combinaisons les chiffres qu'il avait

Lacs bavarois.

UN LITRE D'EAU CONTIENT :	Lac de Starnberg. Milligr.	Lac de Kochel. Milligr.	Lac de Walchen. Milligr.	Lac de Bader. Milligr.	Lac d'Eib. Milligr.
Résidu total	148,50	188,02	140.00	158,78	126,00
Chlorure sodique	2,08	2.28	2,30	2,14	2.22
— potassique.	1,68	1.82	1,58	1,74	1,78
— magnésique	0,54	0.50	0,35	0,31	0,55
Sulfate calcique.	14,12	44,51	12,90	20,72	13,25
Carbonate calcique	82,56	109.00	80,87	95,30	76,35
— magnésique	39,85	26,57	34,72	29,99	26,00
— ferreux	0.30	0,28	0,93	1,45	1,30
Alumine	1,04	0,98	2,19	1,75	1,65
Acide silicique	5,00	1,57	1,28	1,35	1,20
— carbonique (demi-combiné).	57,25	61,98	54,12	58,19	47,71
— carbonique libre	13,86	27,03	11,75	2,62	12,58
Total	218,28	276,52	203,27	215,56	184,60
Oxygène (cent. cubes par litre d'eau) .	9,59	10,58	10,05	9,42	9,36

obtenus pour les constituants non combinés, a exprimé en chlorures les valeurs trouvées pour le *sodium*, le *potassium* et le *magnésium*, alors que le lecteur non initié s'attend, comme c'est l'habitude, à trouver ces valeurs exprimées en oxydes : soude, potasse et magnésie. Nous avons cru, pour des considérations d'ordre pratique, qu'il était nécessaire d'évaluer en oxydes les chiffres donnés par Strassner. S'il est vrai que la somme des constituants paraît trop élevée pour la quantité d'oxygène équivalente au chlore, cependant nous obtenons pour la magnésie *une* valeur équivalente. D'autre, part, en dépit de tous les soins, il est impossible d'arriver à une concordance *absolue*, les analyses étant sujettes à des erreurs inévitables. Et pourtant les chiffres donnés par Strassner prouvent que son travail a été fait avec les plus grands soins; car, si l'on fait, bien entendu, abstraction de l'anhydride carbonique, on constate une concordance remarquable entre les chiffres du résidu d'évaporation et la somme des constituants.

Lacs de la Prusse orientale.

UN LITRE D'EAU CONTIENT :	I. Milligr.	II. Milligr.	III. Milligr.	IV. Milligr.	V. Milligr.	VI. Milligr.	VII. Milligr.
Matières en suspension.	0,3	0,5	0,1	0,2	0,9	0,3	2,1
Résidu à l'évaporation.	171,5	203,8	159,7	165,5	129,5	160,0	164,2
Substances combustibles.	27,0	41,0	34,0	30,5	25,0	38,0	47,0
Résidu à la calcination.	144,5	162,7	125,7	135,0	104,5	122,0	117,2
Chaux	49,0	59,0	46,0	51,0	38,0	51,1	49,4
Magnésie	11,5	12,6	7,6	10,1	5,4	5,0	4,7
Acide sulfurique .	17,1	20,9	13,0	22,0	11,3	13,2	13,3
Chlore	6,2	5,9	7,1	7,9	4,9	6,7	6,8
Ammoniaque . . .	traces	0,3	traces	traces	traces	0,4	0,5
Acide nitreux. . .	0	traces	0	0	0	traces	traces
— nitrique . .	traces	1,1	traces	traces	traces	traces	traces
Dureté totale . . .	6,5	7,7	5,6	6,5	4,5	5,8	5,6

I. Eaux prises à l'écluse d'Ustrich, près d'Allenstein.
II. Eaux prises dans le lac de Wadang, en amont du moulin de Wadang, près d'Allenstein.
III. Eaux prises dans le lac de Masure, à son déversoir méridional, en amont de Johannisburg.
IV. Eaux prises dans le lac de Masure, à son déversoir septentrional, près d'Angerburg.
V. Eaux prises dans le lac de Wystyter, à sa décharge, la rivière Pissa.
VI. Eaux prises dans les lacs de la région supérieure, près de Liebemühl.
VII. Eaux prises dans les lacs de la région supérieure, près de Deutsch-Eylan.

Les analyses dont nous donnons les résultats pages 254, 255 et 256 n'étant pas toutes complètes, nous ne pouvons entreprendre une discussion générale des résultats qu'elles ont fournis. Cependant elles prouvent indubitablement que les eaux des lacs des montagnes, contrairement à celles des cours d'eau des plaines de l'Allemagne du Nord, ne contiennent

Lacs du Holstein [1].

UN LITRE D'EAU CONTIENT :	I. Milligr.	II. Milligr.	III. Milligr.	IV. Milligr.
Résidu total [2].	368	497	1040	392
Substances organiques	139	149	193	138
Résidu à la calcination	229	407	892	254
Chaux	93	—	—	84,5
Magnésie.	0,5	—	—	3,5
Acide sulfurique	14	64	139	—
Chlore	15	114	362	23,6
Fer	11,6	0,2	0,1	0,6
Ammoniaque.	0	0,5	traces	0
Acide nitreux.	—	traces	0	—
— nitrique	0	0	0	—
Dureté totale	10,1	10,9	18,8	11,2

I. Lac de Schulen, à Kiel.
II. Lac de Wessecker, à Oldenbourg i H.
III. Lac de Gruber, à Oldenbourg i H.
IV. Étang de Schreven, à Kiel.

pas de substances organiques. Elles nous prouvent, en outre, que nous devons considérer comme causes de la coloration différente qu'offrent les eaux des lacs des plaines, les substances organiques, dissoutes ou en suspension, que ces eaux contiennent très fréquemment. Une eau *pure*, dépourvue d'azote, montre, en couche épaisse, une coloration bleu verdâtre, c'est-à-dire la couleur des eaux claires des lacs alpins.

Parmi les cinq ou six lacs du premier groupe, que Strassner

[1] A. Emmerling, *Agrikulturchemische Untersuchungen, eine Festschrift.* Kiel, 1895, S. 30.

[2] Le résidu total n'était pas indiqué pour I et IV. Les nombres que j'ai donnés ont été obtenus en additionnant ceux qui étaient indiqués pour le résidu à la calcination et pour les substances organiques.

divise encore en *lacs de franc bord* (Vorlandseen), comprenant les lacs de Constance et de Starnberg, en *lacs de bord* (Randseen), comprenant les lacs de Kochel et de Walchen, et en *lacs de haute montagne* (Hochgebirgsseen), comprenant les lacs de Bader et d'Eib, ce qui frappe spécialement, c'est la forte teneur en acide sulfurique des eaux des lacs de Constance, de Kochel et de Bader. Comme elle marche de pair avec la forte teneur en chaux qu'offrent ces eaux, il est probable que ces faits sont dus à la dissolution de montagnes gypseuses. Un autre fait remarquable, c'est la proportion relativement considérable de soude que contiennent les eaux du lac de Constance, sans que leur teneur en chlore soit élevée. Enfin, autre fait intéressant, les eaux des cinq lacs bavarois contiennent très sensiblement la même proportion de chlorure sodique.

Les eaux des lacs de la Prusse orientale se caractérisent avant tout par leur teneur élevée en substances organiques combustibles; en même temps les divers éléments qu'elles renferment s'y trouvent presque dans les mêmes proportions.

Le résidu total des eaux des lacs du Holstein est très élevé. C'est surtout le cas pour les lacs d'Aldenbourg et en particulier pour le lac de Gruber, ce qui fait supposer qu'ils pourraient bien être quelque part en communication avec la mer, comme tend à le prouver, tout spécialement, leur haute teneur en chlore. Cette hypothèse se confirme, d'ailleurs, si l'on tient compte de leur situation géographique. Ces lacs contiennent, en fait, des eaux saumâtres.

Maintenant que nous avons appris à connaître les sources des impuretés normales, et notamment des impuretés solubles, que contiennent nos cours d'eau, et que quelques exemples nous ont permis de nous rendre compte de la composition chimique des cours d'eau allemands, il nous reste à examiner si nous pouvons considérer ces impuretés comme nuisibles aux poissons.

Dans le titre de ce chapitre, nous avons appelé ces sels des *matières nutritives*. Et ce n'est pas sans raison, car tout cours d'eau naturel constitue en lui-même, au point de vue biolo-

gique, pour ainsi dire un monde dans lequel la nature s'est efforcée d'acclimater et de maintenir des être vivants, pour autant que le permettent les conditions de cette eau.

Nous avons vu — et nous y reviendrons encore — qu'une eau à poissons doit contenir des végétaux vivants, qui sont nécessaires à la vie du poisson, dans le sens le plus large de ce mot. Or, nous savons que pour pouvoir accomplir leurs fonctions vitales, pour assurer leur existence, les plantes — qu'il s'agisse de végétaux terrestres ou de végétaux aquatiques — doivent disposer d'une série de substances nutritives de nature minérale. Il en résulte que pour se maintenir saine, dans le sens où nous l'entendons, c'est-à-dire pour assurer la conservation du poisson, l'eau de nos cours d'eau naturels doit contenir une série de matières minérales qui servent de nourriture aux végétaux et, j'ajouterai, surtout aux végétaux supérieurs. Mais s'il est vrai que la vie végétale est nécessaire à l'eau, il est non moins vrai qu'il n'y a pas de vie sans mort.

La plante morte, le cadavre de l'animal et les débris végétaux et animaux quelconques contiennent ou forment une série de substances solubles, c'est-à-dire de substances que l'on peut extraire de l'organisme. Parmi ces substances, il en est — ce sont les sels organiques — qui constituent une excellente nourriture pour de nombreux représentants de la flore microscopique, pour les bactéries. Ces sels organiques provoquent donc et entretiennent des processus de putréfaction qui déterminent une multiplication des bactéries d'autant plus importante que ces substances organiques sont plus abondantes. *En raison de l'énorme pouvoir de multiplication de ces végétaux microscopiques, les substances organiques qui se trouvent accumulées dans leur corps provoquent le développement d'un nombre considérable d'animaux microscopiques qui se nourrissent de bactéries. A leur tour, ces animaux microscopiques servent de nourriture à d'autres animaux, de sorte qu'ils assurent la nourriture des poissons.*

Nous sommes donc bien en droit d'appeler « sels nutritifs » les impuretés naturelles des eaux, bien qu'elles ne servent pas directement de nourriture aux poissons.

Nous avons dit précédemment que les sels que contient l'eau de mer proviennent de la dissolution lente et progressive de l'écorce terrestre par les eaux. Comme dans l'eau de mer, malgré les sels qu'elle renferme et dont la concentration varie à peu près entre 1 et 4 %, vit une faune riche et notamment de nombreuses espèces de poissons, nous ne pouvons pas prétendre que ce degré de concentration des sels de l'eau de mer est d'une façon générale incompatible avec la vie de ces animaux. Nous savons que de nombreuses espèces de poissons de nos cours d'eau émigrent de la mer vers les cours d'eau et réciproquement, mais nous savons aussi que d'autres espèces ne peuvent vivre dans l'eau salée de la mer. Pour eux, les sels de l'eau de mer sont donc en excès et en excès *nuisible*. Les lacs salés du canal de Suez qui contiennent 7,5 % de sels, le Grand lac salé, qui en contient 13,4 %, l'étang salé de Tököly, Salzburg près de Hermannstadt en Hongrie, qui en contient 20,3 % (température de 22° à 30° C.) et la mer Morte, dont la salure est de 25 à 28 %, constituent une série, qui nous montre cet excès atteignant une valeur telle que la vie organique y est absolument impossible, et cependant c'est une pollution naturelle des eaux par des sels solubles. Elle prouve en même temps que des eaux fermées peuvent, dans l'espace de milliers d'années, sous l'influence des produits de la dissolution lente des montagnes et sous l'influence d'une évaporation excessive, — que l'on songe aux gisements de sels — peuvent, dis-je, devenir beaucoup plus concentrées encore que l'Océan, qui est resté peuplé d'animaux parce que la proportion d'eau qu'il reçoit est au moins égale à celle qu'il perd par évaporation.

Nos eaux de source, sauf quelques rares exceptions, sont incolores et très transparentes. Nos cours d'eau naturels, au contraire, ont une couleur et une transparence très variables.

Il existe une relation très étroite entre la couleur et la transparence d'une eau.

D'après A. Forel, quelques milligrammes de substances en suspension peuvent influencer la transparence d'une eau.

Quand la proportion des substances tenues en suspension est minime, le trouble est à peine visible. Des substances minérales, des substances organiques et des organismes vivants (bactéries, algues et animaux microscopiques) peuvent être cause d'une diminution de la transparence; mais il faut qu'ils s'y trouvent en excès pour que l'on distingue un trouble net, et ils donnent, en outre, à l'eau une couleur en rapport avec leur propre coloration.

Les couleurs, variant entre le bleu foncé et le verdâtre, que possèdent les eaux claires des mers australes, des lacs alpins et, à certaines époques, celles des grands fleuves et même de cours d'eau plus petits, couleurs dont les nuances dépendent aussi de la présence de substances en suspension, ne peuvent naturellement pas nous intéresser ici. Nous n'avons à nous occuper que des colorations qui sont occasionnées par des troubles sales, par de très fortes quantités de matières en suspension, si fortes même qu'elles font sentir leur effet sur de minces couches d'eau. Ces colorations que nous constatons dans la plupart de nos cours d'eau à poissons doivent, il est vrai, être aussi considérées comme des impuretés, mais non comme des impuretés nuisibles. Au contraire, nous devons les appeler des impuretés naturelles et nécessaires, auxquelles la faune de ces cours d'eau s'est adaptée.

Certains poissons exigent une eau claire et transparente; d'autres, une eau plus ou moins trouble. Nous comprenons donc que les diverses espèces de poissons qui vivent dans un même cours d'eau choisissent les endroits qui leur conviennent le mieux pour en faire leur séjour.

Dès lors, comme les troubles de l'eau qui sont influencés par diverses circonstances, par exemple par les courants, etc., ne sont pas partout de même intensité, un homme expérimenté pourra conclure du degré de transparence de l'eau, non seulement à la nature de l'ensemble de sa faune, mais aussi aux lieux de séjour probables des diverses espèces.

C'est dans ce sens que nous ne pouvons considérer une eau trouble comme une *eau à poissons* polluée, en dépit des impu-

retés que représente son trouble. Au contraire, nous devons plutôt dire que ce trouble est naturel et nécessaire aux habitants de cette eau, bien qu'il puisse se faire que, comme conséquence de ce trouble, certains poissons fuient cette eau. Dans ce cas, il est inutile que nous y cherchions ces poissons. Si, par suite de circonstances quelconques, ils y sont amenés, ils chercheront à la quitter, ils émigreront, ou bien ils y mourront peu à peu, parce que l'une des conditions nécessaires à leur séjour fait défaut, ce qui les empêche d'y vivre et de s'y reproduire [1].

La transparence de l'eau joue naturellement aussi un rôle tout spécial dans la question de la nourriture du poisson. C'est dans l'eau claire et limpide que vivent les poissons qui doivent suivre des yeux, pour parvenir à la saisir, une proie qui vole à la surface ou qui nage dans l'eau. Au contraire, les espèces qui, comme les Cyprinides, fouillent pour ainsi dire la vase des rives et du fond et qui, pour y choisir ce qui leur convient le mieux, se servent, non pas de leurs yeux, mais de leur sensibilité tactile, celles-là nous les trouverons dans une eau trouble. Ils troublent d'ailleurs eux-mêmes l'eau dans laquelle ils se tiennent, réalisant ainsi les conditions qui leur sont utiles.

On comprend dès lors que la question de savoir ce qu'il faut entendre par une eau trouble, c'est-à-dire sale, varie beaucoup selon que l'on considère telle ou telle espèce de poisson. Mais des troubles qui nous paraissent même très importants, peuvent, selon les causes qui les déterminent, n'être nullement des impuretés nuisibles ; ils peuvent, au contraire, constituer des matières nutritives. Je rappellerai, à ce propos, ce que j'ai dit plus haut concernant ces substances organiques, solubles et insolubles, qui en se putréfiant constituent une source de matières nutritives pour la flore et la faune microscopiques.

[1] C'est parce qu'on n'a pas tenu compte de ces circonstances que l'on a souvent échoué dans les tentatives que l'on a faites d'introduire dans un cours d'eau des poissons qu'on n'y rencontrait pas auparavant, des sandres, par exemple.

Mais s'il est vrai que la proportion des substances en suspension que peut contenir une eau à poissons naturelle, normale, puisse varier beaucoup, soit dans l'intérêt de notre faune ichthyologique en général, soit dans l'intérêt d'une espèce particulière, il y a cependant des limites au delà desquelles une eau trouble devient en fait nuisible, dangereuse.

Il s'agit habituellement alors d'éléments terreux qu'entraînent les masses d'eau, lors des pluies violentes; autrement dit, il s'agit de fragments de masses rocheuses, qui, pulvérisés et mêlés à des restes d'êtres organisés, constituent notre sol arable. Selon le poids spécifique de ces éléments et le volume des particules entraînées par les pluies, nos cours d'eau en sont troublés, sur une étendue plus ou moins considérable et pendant un temps plus ou moins long, jusqu'à ce que ces particules se déposent naturellement et cessent ainsi d'exercer toute action nuisible sur les poissons vigoureux, adultes.

Voici quel est le préjudice direct que ces substances en suspension peuvent causer aux poissons. Introduites dans la bouche avec l'eau qui les contient, elles passent avec elle entre les branchies, se déposent sur les lamelles branchiales et finissent par empêcher l'opercule de se fermer, de sorte que l'animal ne peut plus respirer normalement. La présence d'algues microscopiques dans l'eau peut aussi causer le même préjudice aux poissons. Si les masses en suspension renferment des paillettes minérales ou des cristaux à arêtes et à angles aigus et coupants, ces éléments introduits avec l'eau peuvent blesser les branchies et y provoquer des phénomènes inflammatoires qui, comme on l'a souvent observé, entraînent la mort du poisson.

D'autres muqueuses sensibles, exposées directement à l'action de l'eau courante, la conjonctive notamment, sont dans certains cas aussi exposées à des lésions. On a souvent constaté des maladies des yeux et même des cas de cécité dans les établissements de pisciculture où l'on faisait usage de conduites en fer. Ces affections étaient dues à la présence d'oxyde ferrique en suspension.

Tels sont essentiellement les effets nuisibles qu'exercent sur la vie des poissons les troubles naturels dus à la vase.

Nous aurons signalé tous les effets naturels nuisibles que peuvent produire les troubles vaseux quand nous aurons ajouté qu'ils peuvent enliser les endroits où est déposé le frai, ce qui tue les œufs pondus; qu'ils peuvent aussi enliser les végétaux aquatiques, ce qui empêche ces derniers de décomposer l'anhydride carbonique et de dégager de l'oxygène; que la croissance des végétaux est enrayée dans une eau trouble, qui est impénétrable à la lumière.

En général, les poissons supportent sans inconvénients ces impuretés mécaniques de l'eau, quand les cours d'eau n'en sont troublés que passagèrement. Ces troubles, même quand ils sont très importants, restent sans effet lorsque les poissons sont bien portants et vigoureux. Mais quand, par suite d'autres circonstances, les poissons sont déjà malades et affaiblis, pour avoir, par exemple, dû résister trop longtemps et sans repos contre des masses d'eau courante, alors ils sont notamment incapables de lutter contre l'engorgement de leurs branchies. Dans ce cas ils meurent en grand nombre, ainsi qu'on l'a vu en Saxe, lors des hautes eaux de 1897.

Nous avons constaté nous-même qu'il n'y a qu'un petit nombre de régions de l'Allemagne où les eaux à poissons ne sont exposées qu'au seul danger de cette pollution naturelle.

Ce n'est que dans les vallées de montagnes peu accessibles, dans les lacs alpins et dans les régions septentrionales et du nord-est de l'Allemagne, où l'industrie est peu développée et la population peu dense, que les cours d'eau sont uniquement exposés à cette pollution naturelle. Là où des établissements industriels et de grandes agglomérations d'habitations se sont établis le long des cours d'eau, les dangers auxquels sont exposées les pêcheries sont beaucoup plus nombreux et plus graves.

Nous nous occuperons, dans un autre chapitre, des influences et des effets nuisibles résultant de notre vie industrielle.

Mais insistons encore une fois sur le fait que, comme nous

l'avons vu, les impuretés naturelles favorisent directement et indirectement la vie du poisson et sa prospérité, car elles assurent à la faune ichthyologique des eaux normales dans des conditions normales. Disons, une fois encore, que les substances solubles ne sont nuisibles au poisson que si elles existent en excès, et, enfin, que les matières en suspension n'offrent de danger que si des circonstances extraordinaires, telles que des crues, les amènent en excès dans les cours d'eau.

Nous avons déjà parlé ailleurs des effets produits par les températures extraordinairement élevées, par l'insuffisance d'oxygène respiratoire, par la présence d'un excès d'acide carbonique, qu'il ait pour origine des sources minérales ou qu'il résulte de la putréfaction de dépôts de boue de nature organique.

Dans les régions vulcaniques, la nature expose encore ses êtres vivants à des intoxications directes. Si en Allemagne nous échappons heureusement à ces dangers — bien que l'on ait observé chez nous des dégagements considérables d'acide carbonique, — par contre, dans le Rio Vinagre, par exemple, qui, en Colombie, prend sa source dans la région du volcan Puracé, constamment en éruption, les eaux contiennent des acides libres en telle quantité ($1^{gr},1$ d'acide sulfurique et $1^{gr},2$ d'acide chlorhydrique par litre), que l'on doit dire que de vrais poisons pour les poissons s'écoulent directement du sol.

Parmi les sources minérales dont nous avons parlé plus haut, il en est, telles les sources sulfureuses, qui contiennent des substances nuisibles, que nous savons constituer des poisons pour le poisson. Mais, chez nous, ces sources n'ont guère d'importance au point de vue des pêcheries.

Je dirai un mot encore d'une action nuisible qui peut se produire indirectement dans nos cours d'eau. Lorsque les circonstances sont telles que les substances organiques insolubles, incomplètement minéralisées, puissent se déposer en grandes masses, à l'état de boue, il peut se faire alors que, par des phénomènes chimiques propres, il se dégage du sulfide

hydrique, gaz vénéneux qui peut mettre en danger les poissons de cette eau.

Nous reparlerons encore des poisons du poisson lorsque nous nous occuperons des préjudices que cause à la pisciculture notre vie industrielle.

II. — Autres conditions que, dans l'intérêt du poisson, doit remplir un cours d'eau naturel.

1. L'EAU EN TANT QUE MILIEU D'HABITATION ET DEMEURE DU POISSON.

Constitution du lit et des rives du cours d'eau. — Tout poisson a besoin de certaines places bien protégées, cachettes ou refuges, dans lesquelles il puisse se reposer et qu'il recherche en cas de besoin. C'est surtout dans les cours d'eau rapides que ces lieux de repos sont indispensables aux poissons. Les eaux à truites, où l'on vient à détruire ces refuges, soit en enlevant des pierres qui émergent, soit en enlevant des bancs de cailloux pour niveler les hauts fonds ou consolider les rives, ne tardent pas à être abandonnées par la truite dans l'étendue où l'on a effectué ces travaux, alors même que l'eau réunit toutes les conditions nécessaires à l'existence de ce poisson. Les canalisations des fleuves et des rivières ont, en général et pour la même raison, les influences les plus funestes sur la présence des poissons. Elles ont pour conséquence de détruire les lieux de repos naturels qu'exige aussi l'existence naturelle des végétaux, et, par conséquent, les poissons sont contraints de se chercher des demeures plus agréables. Ces cours d'eau n'ont plus de valeur, sans que pourtant un seul des poissons qui y vivaient soit mort!

Il arrive, il est vrai, que, dans certaines circonstances, des poissons, des truites même, vivent parfaitement dans une eau où des végétaux ne peuvent croître et se développer. C'est ce qu'on observe notamment dans la traverse d'un cours d'eau

dans des localités populeuses où, non seulement le poisson utilise comme lieux de repos ou de refuge des objets de poterie ou autres, que la population a jetés dans l'eau, par esprit d'ordre, mais où il trouve, en outre, une abondante nourriture dans les débris de cuisine jetés à la rivière. Mais ces poissons ne peuvent se reproduire dans de semblables conditions.

2. L'eau a poissons en tant que milieu favorable au développement des oeufs et du fretin.

Constitution du lit et des rives. — La nature du sol et du lit du cours d'eau joue un rôle essentiel dans la reproduction de la plupart des espèces de poissons.

Les Salmonides, par exemple, ne fraient que dans du gravier propre et meuble, où ils puissent faire leurs fosses à frai.

Les œufs de truites pondus dans le gravier peuvent mourir quand ils s'enlizent : nous l'avons dit déjà. Il faut donc se garder de draguer le lit des cours d'eau pour en extraire le gravier; il faut se garder aussi d'enlizer les endroits où fraient les poissons et les bas-fonds qui protègent les œufs, soit à l'aide de boue de dragage, soit à l'aide de troubles vaseux produits par l'agitation continuelle du fond de la rivière, comme l'opèrent les bateaux à vapeur.

Végétaux. — Les Cyprinides déposent leurs œufs sur des plantes auxquelles ils adhèrent à l'aide d'une couche de mucus. Il faut donc que les eaux à Cyprinides contiennent des plantes. Certaines espèces même déposent de préférence leurs œufs sur des espèces déterminées de végétaux. C'est ainsi que la brême préfère les Hydrocharidées (spécialement le *Stratiotes aloides*) et les lavarets, les charagnes (Characées). Lorsque ces conditions de la reproduction sont détruites dans un cours d'eau, ou n'y sont qu'incomplètement réalisées, la reproduction s'en ressent. Elle peut même cesser complètement, ce qui a naturellement pour conséquence de diminuer le nombre des poissons que l'eau contient.

Des inconvénients de cette nature surviennent quand on nettoie les cours d'eau. Ce travail a pour conséquence de réduire la végétation, parce que pour l'effectuer on doit enlever les herbes qui croissent sur le lit du cours d'eau. En enlevant ces plantes, on détruit souvent aussi une grande quantité d'œufs de poissons et de fretin. Dans certains cas même, cela se fait avec l'approbation des autorités, quand « l'Inspection des rivières » (dans le duché de Bade, par exemple) donne ses ordres mal à propos, c'est-à-dire quand elle fait exécuter ce travail au printemps, comme c'est malheureusement l'habitude.

D'autre part, l'existence d'une végétation trop compacte peut aussi nuire à la reproduction.

Courant et profondeur. — Une foule de poissons exigent, pour se reproduire, des courants d'une intensité déterminée. Ainsi l'ombre, le saumon heuch, le sterlet ne pondent qu'en eau courante : jamais ils ne le font dans une eau dormante. Le lavaret ne pond ses œufs qu'à des profondeurs considérables. Par contre, les Salmonides quittent les régions profondes des ruisseaux et des rivières pour aller frayer dans des ruisseaux plus petits et même dans des ruisseaux très petits et contenant peu d'eau, où se trouvent réalisées les conditions favorables à l'éclosion, c'est-à-dire où la température est généralement basse et où les œufs ne courent pas le danger de s'enlizer. Les alevins trouvent les conditions les plus favorables à leur existence dans des eaux bien aérées, offrant de nombreux refuges et abris et n'hébergeant que de rares ennemis.

Circonstances défavorables. — Lorsque les rives d'un cours d'eau parcouru par des bateaux à vapeur sont basses et qu'en dehors elles descendent au-dessous de la ligne de flottaison, le menu fretin, jeté au-dessus du bord par les vagues, ne peut revenir à l'eau et meurt.

D'ailleurs, les poissons fuient les endroits où les rives d'un cours d'eau parcouru par de nombreux bateaux sont basses. Et naturellement, ils n'y vont pas non plus frayer.

3. L'eau en tant que milieu nutritif pour les poissons.

Nourriture végétale et animale. — Tout cours d'eau doit contenir une certaine quantité de végétaux et d'animaux dont puissent se nourrir les poissons.

La productivité d'un cours d'eau est l'expression de la somme totale de nourriture qui a été utilisée par le poisson. Cette productivité dépend naturellement de la quantité de substances nutritives que les végétaux ont trouvée dans le cours d'eau, puisque c'est d'elle que dépend essentiellement l'intensité du développement des végétaux.

Celle-ci, à son tour, enraie ou favorise le développement des animaux dont se nourrit le poisson et qui, de leur côté, ont besoin pour se nourrir d'organismes microscopiques, que le poisson adulte peut parfaitement ne pas consommer, mais qui néanmoins lui sont indirectement indispensables au point de vue physiologique.

La productivité d'un cours d'eau, nous l'exprimons par le nombre de kilogrammes de poisson que produit annuellement 1 hectare du cours d'eau, ou bien 2 kilomètres d'un ruisseau ayant une largeur moyenne de 3 à 4 mètres, parce qu'en tenant compte des parties de son parcours où il s'élargit, cette longueur de 2 kilomètres correspond à une surface de 1 hectare.

Cette productivité est très variable. Dans certains étangs à carpes, elle atteint 600 kilogrammes, tandis que dans certains ruisseaux à truites, elle n'est que de 15 à 20 kilogrammes.

La productivité naturelle peut changer beaucoup par suite de circonstances diverses, telles que travaux de régularisation du cours d'eau, construction de barrages et écoulement d'impuretés chimiques ou d'eaux ménagères. Les travaux que l'on exécute sur les rives ou dans les rivières ont généralement pour conséquence de diminuer la quantité de végétaux et en même temps celle des animaux qui y vivent et qui servent de nourriture aux poissons.

Les barrages empêchent le va-et-vient naturel des poissons migrateurs ou plutôt voyageurs, c'est-à-dire de ceux qui se déplacent pour chercher des endroits où la nourriture est plus abondante.

Toutefois, ils n'arrêtent nullement la migration instinctive de certaines espèces à l'époque de la reproduction.

Quand il s'agit d'estimer l'importance du préjudice causé par des travaux exécutés dans un cours d'eau, il ne faut pas seulement tenir compte de ce qui se passe dans ce cours d'eau, mais dans tout le système fluvial dont il fait partie.

En effet, des travaux de régularisation exécutés dans des cours d'eau voisins de celui que l'on examine et en communication avec lui, agissent sur le système fluvial tout entier. Ils font diminuer le nombre des poissons voyageurs (barbeaux, saumons heuch, truites), parce que ceux-ci se trouvent dans des conditions défavorables pour se nourrir.

Le préjudice causé à la pêche par l'écoulement d'eaux industrielles et ménagères est plus difficile à estimer avec exactitude que celui que causent les travaux d'art dont nous venons de parler.

Cependant, nous devons admettre que dans la plupart des cas ces eaux résiduaires ont pour effet de diminuer la quantité de nourriture du cours d'eau, par suite de l'influence nuisible, parfois même mortelle, qu'elles exercent sur la faune et la flore. Certaines eaux résiduaires nuisent, il est vrai, aux végétaux normaux des cours d'eau, mais elles ne leur nuisent qu'indirectement, en provoquant le développement de végétations qui ne se forment qu'en présence de certaines substances bien déterminées contenues dans ces eaux résiduaires. C'est ainsi, par exemple, que nous voyons apparaître des Algues ferrugineuses rouges (*Lyngbia*) dans les eaux résiduaires qui contiennent du fer, et que dans les eaux vannes qui contiennent surtout des substances organiques, notamment celles qui proviennent des industries agricoles (surtout des fabriques de sucre et d'amidon et même aussi des brasseries, distilleries, laiteries et des moulins à farine), se développent des Algues

filamenteuses blanches (*Beggiatoa*, *Leptomitus*, *Sphærotilus*), qui forment dans le ruisseau, soit des masses flottantes, soit de minces enduits qui recouvrent les pierres ou les morceaux de bois. Enfin, certaines eaux résiduaires, loin de pouvoir être considérées comme nuisibles aux poissons, leur sont plutôt utiles, parce que certains éléments qu'elles renferment servent directement de nourriture aux poissons, ou tout au moins servent de nourriture aux végétaux ou aux animaux dont se nourrissent les poissons, de sorte qu'ils favorisent leur développement. Ces eaux résiduaires constituent donc plutôt une fumure des cours d'eau.

Telles sont celles qui contiennent des excréments humains ou du purin et, dans certains cas, les eaux de lavage des villes et des industries agricoles, à condition qu'elles n'existent pas en excès. Dans l'exploitation rationnelle des étangs, on déverse même intentionnellement et avec succès de ces fumures dans les eaux.

Quand on dit, ce qui est vrai d'une façon générale, que la productivité naturelle d'un cours d'eau peut être fortement influencée par des circonstances diverses, il ne faut pas oublier que ces circonstances peuvent aussi lui être avantageuses.

Mais toute circonstance qui diminue la quantité de nourriture naturelle d'un cours d'eau à poissons, diminue aussi la valeur de ce cours d'eau. Pour estimer cette diminution de la productivité, il est indispensable de pouvoir établir une comparaison avec un autre cours d'eau non souillé, ayant la même étendue et se trouvant, à tous autres points de vue, dans les mêmes conditions que celui qu'on examine.

III. — L'eau à poissons en tant que domaine de pêche.

Constitution des rives et de leur voisinage. — La meilleure eau à poissons est défectueuse, du moment qu'elle ne réalise pas ou qu'elle ne réalise qu'incomplètement les conditions nécessaires pour que la pêche puisse y être aisée et productive.

Dans ce cas c'est, selon la nature du cours d'eau, la pêche à la ligne, à la nasse, à l'épervier, au tramail ou à la seine qui subit un préjudice. Lorsque les arbres et les broussailles poussent trop serrés sur les rives, ils entravent la pêche à la ligne, rendent difficile l'accès de l'eau et restreignent toute pêche qui doit se faire de la rive. Toute eau à poissons doit offrir des endroits qui permettent de tendre des filets.

Mais cette condition est surtout indispensable pour la pêche au saumon. Les travaux d'amélioration des cours d'eau exercent, à ce point de vue, une action spécialement nuisible, due à la construction des quais et des murs d'eau.

Constitution du fond. — L'existence d'une végétation trop luxuriante au fond de l'eau entrave le maniement du tramail. La présence d'obstacles de tout genre, tels que pierres saillantes, racines d'arbres, etc., au fond de l'eau, rend impossible la pêche à la seine.

Eau trouble. — Les matières en suspension dans l'eau, en se déposant et se fixant sur les filets, peuvent nuire, parce qu'elles rendent très visibles les engins de pêche, que les poissons évitent alors. Quand, par suite de la présence d'impuretés de cette nature, la quantité de vase putrescible devient très considérable, comme cela se produit notamment en aval des grandes villes qui ne sont pas canalisées et qui déversent leurs eaux sales dans les rivières qui les traversent, il arrive parfois que l'accumulation de cette vase devient telle qu'il est absolument impossible de pêcher dans le cours d'eau. C'était le cas encore, il n'y a pas bien longtemps, dans la partie basse de la Sprée. Les masses de boues en putréfaction, chargées de gaz, remontent alors à la surface et soulèvent les filets. Ces inconvénients se produisent aussi dans des lacs qui reçoivent les eaux résiduaires de fabriques de sucre; ils causent alors de graves préjudices à la pêche, au début de l'été. C'est ce que j'ai observé dans deux lacs de l'Allemagne orientale.

Autres circonstances défavorables. — Restreindre le droit de circulation sur les rives peut avoir pour conséquence de diminuer la valeur d'une eau à poissons.

Non seulement on ne doit prendre aucune mesure qui restreigne l'exercice de l'industrie du pêcheur, mais le pêcheur doit aussi disposer d'une place pour suspendre ses filets; sans cela il est lésé dans ses intérêts.

Mais d'autre part, on ne peut méconnaître que les pêcheurs eux-mêmes nuisent souvent à leurs propres intérêts, parce qu'ils se livrent à une pêche trop intensive et qu'ils s'emparent de tout ce que ramène leur filet, sans s'inquiéter même de savoir si le poisson a la taille minima prévue par la loi. Le marché de Berlin nous a fourni récemment un exemple intéressant à ce propos. Une société avait déversé dans un cours d'eau public des carpes de 2 ans, d'une demi-livre. Quelques jours plus tard on en vendait sur le marché!

Il y a plus. La mesure, en elle-même très louable, qui fixe une taille minima au-dessous de laquelle le poisson ne peut être pêché, peut avoir pour conséquence de diminuer la valeur d'une pêcherie, si le pêcheur capture *tout* le poisson qui dépasse la taille réglementaire [1].

La pisciculture pratique a reconnu que les œufs des Salmonides qui sont le plus aptes à être fécondés et à se développer sont ceux que pondent les femelles âgées et de grande taille. Les œufs de ces grandes femelles sont aussi plus volumineux. Si donc, dans un ruisseau à truites, qui serait seul à assurer la reproduction naturelle de ces poissons, nous pêchions toutes les truites de très forte taille, — ce qui ne serait d'ailleurs guère réalisable — la progéniture des individus n'ayant que la taille minima dégénérerait après quelques générations, perdrait peu à peu la faculté de croître rapidement et resterait petite en général. Les expériences des pisciculteurs démontrent à l'évidence l'exactitude de cette manière de voir.

[1] Les poissons restent petits par suite d'un développement congénital insuffisant ou par suite d'une nutrition insuffisante.

Or, pourquoi ce qui se passe dans les établissements de pisciculture pour la truite et plus indubitablement encore peut-être pour la carpe, ne serait-il pas vrai également pour nos poissons sauvages?

La loi qui prohibe la pêche de poissons n'atteignant pas certaines dimensions est excellente en elle-même; mais comme elle a pour conséquence d'autoriser les pêcheurs à s'emparer de tous les gros poissons, elle constitue un obstacle à la production de races et de familles capables de croître rapidement. Aussi longtemps que nous ne pourrons pas déterminer avec certitude l'âge des poissons, en nous fondant sur des caractères quelconques, le pêcheur ne pourra que protéger lui-même ses fonds de pêche. Les résultats des observations faites par les pisciculteurs devraient faire réfléchir les pêcheurs, dans l'intérêt bien compris de la conservation et de la prospérité du poisson.

Si, à chaque coup de filet, les pêcheurs rejetaient à l'eau quelque poisson vigoureux, adulte et particulièrement beau, ils assureraient pour l'avenir l'existence de races de poissons bien vigoureuses et belles, tandis qu'actuellement, en raison même du nombre sans cesse croissant des personnes autorisées à pêcher dans *une même eau,* la pêche exagérée devient la règle et elle a pour conséquence d'exterminer les races bien vigoureuses, capables de se multiplier et de croître rapidement.

La plupart des pêcheurs ne comprennent même pas qu'il y va de leur propre intérêt. Les rares et honorables exceptions ne font que confirmer la règle.

Lorsque des fautes de ce genre, dont on est soi-même responsable, se commettent et nuisent à la productivité d'un cours d'eau, on n'en convient jamais, mais on se hâte d'attribuer à d'autres causes le préjudice occasionné.

D'autre part, les succès et les offres des éleveurs incitent à introduire dans des cours d'eau des poissons qui jusqu'alors n'y existaient pas. Dans ce cas encore, il peut y avoir faute de la part du propriétaire de la pêche. L'introduction d'espèces

étrangères peut avoir pour conséquence de nuire à la prospérité de poissons productifs et d'une vente facile. Nous ne savons jamais ce que produira une espèce étrangère, et il ne faudrait pas croire qu'il n'y a que des espèces américaines qui puissent nuire; des poissons européens, même des poissons vivant dans d'autres cours d'eaux de notre propre pays, peuvent exercer une action néfaste. Aussi, quand il s'agit d'expertiser un cours d'eau à poissons, faut-il avoir soin de s'informer si l'on ne s'est pas livré à des opérations de ce genre.

Il faut aussi tenir compte de la prédominance de certaines espèces, de l'existence de petits poissons d'une même espèce, de la présence ou de l'absence de poissons voraces, etc.

Toutes ces circonstances constituent des facteurs plus ou moins importants, qu'un expert ne doit pas méconnaître quand il est appelé à rechercher les causes d'un préjudice éventuellement subi par un cours d'eau. En effet, ces circonstances peuvent varier beaucoup, selon leurs complications, la nature du cours d'eau et celle du poisson.

Le nombre des hommes compétents en cette matière n'est pas bien grand. Il est en tout cas beaucoup moindre que celui des pêcheurs et des amateurs de pêche qui croient pouvoir faire prospérer la pêche et progresser la pisciculture sans s'aider du concours de la science.

Que le pêcheur et le marchand de poissons ne comprennent pas et préfèrent le produit immédiat que lui assure la population de nos cours d'eau, cela se comprend. Mais que dans d'autres milieux, où l'on aurait le droit de s'attendre à voir régner d'autres idées, on ne reconnaisse pas suffisamment que, malgré les enseignements qu'en ces cinquante dernières années nous ont fournis l'agriculture et ses stations expérimentales, l'aquiculture ne peut se fonder que sur des bases scientifiques, c'est non seulement regrettable, mais encore étonnant à une époque comme la nôtre, où toutes les branches de l'industrie vivent sous un régime de protection économique, souvent même illégitime d'ailleurs.

La science souffre sans doute de cette situation; mais rien

ne peut l'arrêter dans sa marche. L'année 1898 marquera une étape mémorable de cette marche de la science aquicole : c'est en 1898, en effet, que fut inventé l'appareil Tenax. Les résultats, pour ainsi dire improvisés, qu'un premier expérimentateur a obtenus à l'aide de cet appareil, si facile à manier, nous donnent l'assurance que nous pouvons en attendre la solution d'une foule d'énigmes, qui actuellement arrêtent la pratique ou la rendent difficile.

C'est pour moi un plaisir, et je dirai même un honneur, d'avoir reconnu, il y a longtemps déjà, la nécessité et l'importance d'un appareil permettant de déterminer aisément la proportion d'oxygène que contient une eau à poissons, d'avoir insisté pour que cette question fût mise au concours et, enfin, de l'avoir fait mettre au concours, non sans difficultés d'ailleurs.

QUELLES SUBSTANCES SONT AMENÉES DANS NOS COURS D'EAU PAR L'EXERCICE DE L'ACTIVITÉ HUMAINE ET EN QUELLES QUANTITÉS Y SONT-ELLES REJETÉES ?

De tout temps l'homme a installé ses usines près des cours d'eau, afin de les utiliser, d'une part pour amener les matières nécessaires à son industrie, et, d'autre part, pour transporter les produits fabriqués ou pour y déverser les résidus et les immondices provenant de l'activité industrielle et humaine.

L'accroissement de la population et l'augmentation des besoins, créée par la marche ascendante de la civilisation et par l'activité industrielle, dont nous avons pu constater l'essor dans ces cinquante dernières années, devaient nécessairement avoir pour conséquence de souiller nos rivières à l'excès, surtout dans les centres industriels.

La totalité des eaux à poissons de l'Allemagne, à part peut-être quelques exceptions négligeables, subit l'influence de cet état de civilisation, c'est-à-dire que, au point de vue de l'existence des poissons, les rivières de presque toute l'Allemagne peuvent être considérées comme polluées par l'homme.

Pour la grande majorité des cours d'eau, on ne peut plus parler d'un état normal naturel. Il en est tout au moins de même en Belgique.

Nous avons vu qu'on ne peut pas considérer comme directement nuisible aux poissons la souillure naturelle provenant des eaux des montagnes ou des marais, ni le trouble que produisent les matières en suspension entraînées mécaniquement par elles. En ce qui concerne la pollution occasionnée par l'activité humaine, nous devons aussi compter avec une situation pour ainsi dire inévitable et nous en accommoder, d'autant plus que toutes les souillures qu'entraîne l'activité humaine ne sont pas toujours nuisibles. De même que certains troubles naturels de l'eau, non seulement présentent une innocuité parfaite, mais sont même utiles et plus ou moins indispensables à certaines espèces de poissons ; de même certaines impuretés dues à l'existence même de l'homme ou à son activité industrielle, peuvent être regardées comme inoffensives, voire même, dans certaines circonstances, comme utiles aux poissons. Dans l'un comme dans l'autre cas, *c'est l'excès seul qui est préjudiciable.*

Les domaines de l'industrie étant très variés, il en est nécessairement de même des déchets qu'amènent dans nos cours d'eau les établissements industriels et les habitations de l'homme.

Si nous voulons examiner de plus près ces produits pernicieux de notre civilisation, nous devons nous demander tout d'abord de quelle nature sont les matières premières mises en œuvre dans les différentes industries. Nous devons distinguer entre matières résiduaires inorganiques et organiques.

Nos exploitations de mines et de salines, les diverses industries métallurgiques, la grande industrie chimique, les installations pour le chauffage domestique et les foyers industriels, les usines à gaz d'éclairage, les fabriques de goudron fournissent des déchets de nature minérale, tandis que les industries ayant trait à la préparation des fibres textiles, de la cellulose, la fabrication du papier, emploient des matières

premières organiques, mais exigent dans leur travail une quantité de substances minérales, de sorte qu'elles donnent à la fois des déchets minéraux et des déchets organiques. Il en est de même pour les tanneries, les fabriques de colle, etc.; par contre, les industries agricoles (fabriques de sucre, d'amidon, distilleries, brasseries), y compris les laiteries et fromageries, rejettent essentiellement des matières organiques. A ces industries nous devons, au point de vue de la contamination des cours d'eau, rattacher directement les eaux de nettoiement des villes, les eaux ménagères, les déchets d'abattoir et de boucherie.

Étudions maintenant de plus près les résidus de ces différents groupes d'industries, au point de vue de leur nature chimique et de leur mode d'action sur la vie des poissons.

Exploitation des mines et des salines [1]. — Parmi les eaux résiduaires de l'exploitation des mines en Allemagne, nous devons en toute première ligne citer les eaux des houillères et en même temps les eaux de lavage du charbon. Suivant la nature chimique des couches, la composition de ces eaux est naturellement très différente. Toutes les eaux des houillères contiennent, sans exception, une proportion souvent considérable de sel marin. Cette teneur s'élève parfois à 4-6 °/ₒ, c'est-à-dire qu'elle est supérieure à celle de l'eau de mer. On y a constaté aussi la présence de chlorure de potassium, de chlorure de magnésium, de chlorure de calcium et même de chlorure de baryum. On y trouve, en outre, des sulfates de fer et d'aluminium; parmi ces sels, le vitriol vert peut devenir particulièrement nuisible, à cause de la précipitation d'oxyde

[1] Dans ce qui suit, chaque fois que je n'indique pas une autre source bibliographique, les chiffres que je mentionne sont empruntés aux ouvrages bien connus de J. König : *Verunreinigung der Gewässer*, et de F. Fischer : *Das Wasser*. Dans ce chapitre, il sera parfois question d'eaux résiduaires épurées, mais les procédés d'épuration n'y sont pas spécialement décrits. Ils le seront dans le chapitre suivant.

ferrique qui se produit à la longue par absorption d'oxygène. Ces eaux résiduaires renferment aussi de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique libres. D'autre part, on y a reconnu également la présence de bicarbonate sodique. Comme exemple de la composition de ces eaux de houillère, nous avons réuni dans le tableau suivant les résultats (en grammes par litre) choisis parmi treize analyses complètes, faites par F. Muck, de Bockum. La moyenne (7) est calculée sur les 13 analyses. (Voir ce tableau page 279.)

Le tableau suivant montre la composition élémentaire des mêmes eaux, obtenue par l'analyste et dont il tire par le calcul les valeurs du tableau ci-après. Les moyennes sont encore une fois calculées sur les treize analyses. Les chiffres expriment des grammes par litre.

Numéros.	NOMS DES MINES.	Soude.	Chaux.	Magnésie.	Chlore.	Acide sulfurique.	Acide carbonique combiné.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	Pluto	8,43	0,80	0,56	11,59	0,03	0,01
2	Constantin	5,36	0,64	0,25	6,13	0,09	0,74
3	Königsgrube	4,01	0,56	0,23	5,24	0,20	0,17
4	Hannibal.	1,30	0,11	0,05	1,37	0,09	0,09
5	Prinz Regent . . .	0,29	0,11	0,08	0	0,47	0,12
6	Engelsburg.	0,10	0,11	0,03	0	0,12	0,12
7	Moyenne. . .	2,72	0,38	0,18	3,39	0,35	0,19

Certaines eaux de mines, analysées par J. König[1], ont une teneur en sels considérablement plus élevée. Nous avons choisi parmi quinze analyses. La moyenne (7) se rapporte à ces quinze analyses; mais pour le sulfate de magnésium, elle ne porte que sur douze analyses, et pour les matières en

[1] *Loc. cit.*, II, p. 379.

Numéros.	NOMS DES MINES.	Somme des matières minérales.	Chlorures.	Chlorure de sodium.	Chlorure de magnésium.	Chlorure de calcium.	Sulfate de sodium.	Sulfate de magnésium.	Sulfate de calcium.	Carbonate de calcium.	Carbonate de magnésium.	Carbonate de sodium.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	Pluto	18,81	18,72	15,90	1,32	1,51	0	0	0,06	0,02	0	0
2	Constantin	11,84	10,11	10,11	0	0	0	0	0,15	1,04	0,53	0
3	Königsgrube	9,23	8,50	7,56	0,54	0,39	0	0	0,34	0,40	0	0
4	Hannibal	2,79	2,45	2,46	0	0	0	0	0,14	0,09	0,11	0
5	Prinz Regent	1,08	0	0	0	0	0,67	0,14	0	0,20	0,07	trace.
6	Engelsburg	0,50	0	0	0	0	0,22	0	0	0,19	0,07	0,01
7	Moyenne	6,48	6,32	4,99	0,25	0,22	0,34	0,09	0,15	0,33	0,10	trace.

suspension, sur six seulement. En ce qui concerne les sels potassiques, une des moyennes est établie sur cinq résultats, en chlorure potassique, l'autre (*), sur autant de résultats en sulfate potassique.

Numéros.	EAU DES MINES.	Chlorure de sodium.	Chlorure de calcium.	Chlorure de magnésium.	Chlorure de potassium.	Sulfate de magnésium.	Matières en suspension.
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	Levin	65,95	11,06	3,74	0,66	0	0,06
2	Mathias Stimes . . .	33,24	3,63	1,73	0,66	0,26	0
3	Prosper I	32,13	3,48	1,28	0,28*	0,39	0,08
4	Prosper II	23,83	2,35	0,79	0,32*	0,70	0,17
5	Gneisenau	12,02	1,56	0,87	0,16	0,02	0
6	Carolus magnus . .	4,60	0,48	0,18	0,45	0,13	0
7	Moyenne. . .	22,04	2,83	1,11	0.49 0,24*	0,29	0,10

(*) Les chiffres marqués d'un astérisque se rapportent au sulfate potassique.

On comprend aisément que de pareilles eaux arrivant dans les rivières et surtout dans les petits ruisseaux doivent les influencer considérablement, par leur teneur élevée en sels. C'est ce qui ressort des analyses d'eaux de petites rivières de la Westphalie, que F. Muck a faites en 1881. Je les transcris.

Numéros.	NOMS DES RUISSEAUX QUI REÇOIVENT DES EAUX DE MINES.	Somme des matières minérales.	Chlorures de			Sulfate de calcium.	Carbonate de calcium.
			sodium.	calcium	magnésium.		
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	Baumbach	16,60	13,53	2,08	0,82	0,16	0
2	Kleine Emscher. . .	3,53	2,68	0,04	0,23	0,37	0,21
3	Grosse Emscher . .	2,83	2,20	0,07	0,18	0,34	0,04
4	Hüllerbach	2,29	1,89	0	0,19	0,40	0,04

Mais une eau à poissons subit des préjudices bien plus sérieux lorsque l'eau de mine qu'elle reçoit — comme c'est le cas dans le bassin houiller de la Haute-Silésie — enlève au charbon qu'elle traverse une forte proportion de sels ferriques et d'acide sulfurique libre.

Citons, à titre d'exemple, les analyses qu'a faites Polek[1] d'une eau de mine de l'Orzesche (Haute-Silésie) et plaçons, en regard de sa composition, celle que possède la Birawka avant d'avoir reçu et après avoir reçu cette eau de mine.

MATIÈRES CONSTITUANTES. (Milligrammes par litre.)	Eau de mine de l'Orzesche.	Eau de la Birawka	
		avant d'avoir reçu l'eau de mine.	après avoir reçu l'eau de mine.
Anhydride sulfurique (SO^3)	1278	5	209
Chlore	4	8	—
Silice.	46	—	19
Potasse	16	1	2
Soude.	18	5	8
Chaux	256	29	79
Magnésie	119	5	25
Protoxyde de fer (oxyde ferreux) .	10[2]	—	11
Oxyde ferrique.	229	3	6
Oxyde de manganèse, alumine . .	102	1	—
Acide sulfurique libre	152	—	29

La Birawka, dont l'analyse précédente démontre la richesse en fer et en acide, traverse deux grands étangs, après avoir reçu les eaux de mine. Comme on devait s'y attendre, les poissons de ces étangs, comme ceux de la Birawka même, ont

[1] Polek, *Beiträge zur Kenntniss der chemischen Veränderung der Gewässer*. D'après F. Fischer, IIe édit., p. 131.

[2] Sur les lieux, 441 milligrammes de sulfate ferreux ($FeSO^4$).

disparu et toutes les tentatives faites pour les repeupler ont échoué. Dans ces eaux aucun poisson ne peut vivre.

Certaines eaux de mines anglaises sont encore plus pernicieuses, comme on peut le voir par l'exemple suivant, que nous citons d'après Baker [1].

Sulfate ferreux.	19mgr,0	par litre.
— ferrique	435,0	—
— aluminique	787,0	—
— calcique	449.0	—
— magnésique. . . .	49,0	—
Acide sulfurique libre. . .	335,0	—
— chlorhydrique libre.	0,4	—

Les *eaux du lavage des charbons* appellent surtout l'attention lorsque les charbons sont riches en pyrite. Dans ce cas, à la suite d'une oxydation, elles peuvent contenir des quantités assez fortes d'acide sulfurique libre et de sels ferriques; en outre, on peut y trouver des dépôts argileux nuisibles provenant de la gangue.

Les eaux des mines de lignite sont généralement moins nuisibles, bien qu'elles présentent les mêmes inconvénients, mais à un degré moindre. Dans une eau de mine de lignite de la Saxe, qui passe par un étang à poissons, j'ai constaté 102 milligrammes de protoxyde de fer et 92 milligrammes d'acide sulfurique libre, par litre.

H. Fleck [2] cependant renseigne les valeurs suivantes pour l'eau d'une mine de lignite de la même région :

[1] *Eng. min. Journ.*, 1875, p. 387. D'après F. Fischer, *Das Wasser*, 1891, p. 132.

[2] H. Fleck, *Jahresber. d. Centralst. f. öffentl. Gesundheitspflege in Dresden*, 1884, S. 21.

Matières organiques	30mgr,5
Sulfate calcique	302,4
— ferreux	261,6
— manganeux	5,1
— magnésique	173,4
— sodique	21,6
— ammonique	18,3
Silicate sodique	41,9
Acide silicique	17,9
Chlorure sodique	327,2
— potassique	82,4
TOTAL	1282,3

A l'air libre, il se forme dans les *eaux de houillère* un précipité d'oxyde de fer qui colore souvent en jaune les rivières sur une grande étendue, et dans les eaux de lavage des charbons, on trouve souvent des poussières de charbon très funestes, qu'il faut séparer. Mais, dans ces derniers temps, on les a utilisées pour la fabrication du coke, de sorte qu'on les recueille avec soin, au grand profit de nos cours d'eau.

Les eaux qui s'écoulent des *terris* des houillères renferment parfois des quantités importantes de terre argileuse et de sels ferriques, concurremment avec de l'acide sulfurique libre. König en a constaté jusqu'à 122mgrs,5 par litre.

Les eaux de lavage provenant des *mines de manganèse* sont particulièrement nuisibles, parce que les paillettes de quartz microscopiques qui s'y trouvent mélangées agissent mécaniquement sur les poissons.

Parmi les eaux résiduaires des *mines de fer*, il faut surtout porter son attention sur les eaux sortant des mines de pyrite, étant donnée la forte proportion d'acide sulfurique libre qu'elles renferment.

Ainsi J. König [1] a trouvé dans des *eaux de mines de pyrite* ou dans des *eaux de lavage des pyrites* [2], les valeurs suivantes,

[1] *Verunreinigung der Gewässer*, II Aufl., Bd II, S. 445.

[2] *Loc. cit.*, t. II, p. 448.

qui peuvent servir d'exemple, parce que ce sont les résultats d'un grand nombre d'analyses. (Voir le tableau ci-après, page 285.)

On comprend sans peine que de pareilles eaux arrivant dans les rivières doivent être profondément funestes aux poissons. Comme exemple de cette influence, nous donnons (page 286) les analyses d'eaux de rivière avant et après leur mélange aux eaux de mines de pyrites dont nous venons de faire mention. Ces analyses sont empruntées à J. König[2]. Il n'y est plus question du sulfate de zinc; nous supposons qu'il s'est éliminé.

Les *scories de la métallurgie de fer*, qui contiennent beaucoup de composés sulfurés solubles, sont particulièrement intéressantes. J. König a trouvé, dans les eaux de suintement des usines de Hörd, 6 594 milligrammes de résidu total, dont 276 milligrammes d'acide sulfurique, et pour une réaction fortement alcaline, 2 028 milligrammes de soufre, sous forme de sulfures solubles (sulfures de calcium et de potassium) par litre.

L'hydrogène sulfuré, que les sulfures solubles mettent en liberté, étant très vénéneux, l'action de semblables eaux sur les poissons ne saurait être que très funeste. Dans les eaux résiduaires de l'exploitation des *mines de zinc*, on rencontre des quantités très considérables de sulfate de zinc, ainsi que le prouvent les déterminations suivantes (page 286) de J. König, qui rendent compte également des eaux de broyage et des eaux de suintement des terris.

En ce qui concerne les eaux résiduaires de la *mine d'argent* de Freiberg, H. Fleck[1] nous fournit les données suivantes (page 287). On y remarque la présence de sulfates ferreux et zincique, qui sont très nuisibles aux poissons, surtout si l'on considère la grande abondance des eaux résiduaires. (Voir plus loin.)

[1] H. Fleck, *Jahresber. der Centralst. f. öffentl. Gesuntheitspflege in Dresden*, 1884, S. 21.

Numéros.	EAUX. (Grammes par litre.)	Acide sulfurique libre.	Sulfate ferreux.	Sulfate de zinc.	Sulfate calcique.	Sulfate magnésique.	Chlorures alcalins.	Sulfate potassique.	Matières en suspension (oxyde ferrique).
1	Mine de pyrite à Meggen, près de Grevenbrück.	gr. 610,0	gr. 2641,0	gr. 1930,4	gr. 966,6	gr. 1722,0	gr. 29,1	gr. —	gr. 256,8
2	Lavage de pyrite	187,1	1094,0	—	1066,3	508,2	92,6	—	—
3	Mine Gottersegen [1] . . . (Galerie I.)	215,7	504,3	—	256,1	281,4	127,8	11,8	0
4	Mine Gottersegen . . . . (Galerie II.)	182,8	448,6	—	282,3	307,2	464,4	65,5	188,0

[1] A Höttringhausen, 1887.

COMPOSITION. (Milligrammes par litre.)	1874 Eau de l'Elspe		1876 Eau de la Lenne		1883 Eau de la Lenne	
	avant le mélange avec l'eau de la mine.	après le mélange avec l'eau de la mine.	avant le mélange avec l'eau de la mine.	après le mélange avec l'eau de la mine.	avant le mélange avec l'eau de la mine.	après le mélange avec l'eau de la mine.
Acide sulfurique. .	12,0	187,0	7,5	62,5	9,3	307,5
Oxyde ferrique et alumine.	trace.	28,7	0,0	14,0	0,0	38,8
Chaux	46,3	131,9	18,0	69,2	23,6	122,0
Magnésie	9,6	33,2	8,3	20,8	12,0	59,0
Chlorures alcalins .	65,9	63,2	29,0	33,5	—	—

COMPOSITION. (Milligrammes par litre.)	Mine Juno [1].	Décombres.	Broyage.
	Milligrammes.	Milligrammes.	Milligrammes.
Résidu d'évaporation. .	352,0 — 550,0	1068,0	139,6
Oxyde de zinc	21,5 — 139,0	143,0	17,6
Acide sulfurique	108,0 — 221,0	—	27,3

[1] Près de Olsberg-Brilon (Westphalie).

Eaux résiduaires de la mine d'argent.

Matières organiques	11	milligrammes.
Sulfate calcique	260	—
— ferreux	6	—
— zincique	24	—
— magnésique	60	—
Carbonate magnésique . . .	36	—
Nitrate magnésique	1	—
Silicate magnésique	47	—
Chlorure sodique	36	—
TOTAL	481	milligrammes.

Dans la vase d'un ruisseau qui recevait l'eau résiduaire d'une *mine de plomb* abandonnée, en Lorraine, j'ai retrouvé du plomb à une distance de 1 kilomètre en aval.

L'*extraction du cuivre* par voie humide détermine l'introduction dans les rivières de sulfate de cuivre, provenant des minerais épuisés. Ce cuivre, récupéré par voie électrolytique, est ainsi enlevé aux eaux résiduaires. On trouvera dans les traités de métallurgie des détails complémentaires.

Les eaux résiduaires provenant des *usines pour la préparation des métaux lourds* sont habituellement débarrassées de ces métaux par addition de chaux, ce qui a pour conséquence d'introduire des quantités de sels calcaires dans les rivières. J. König constate pour l'eau des usines de Stadtberg (mine de cuivre) et par litre : 9817 milligrammes de chlorure de calcium, indépendamment de 210 milligrammes de sulfate de magnésium et de 137 milligrammes de sulfate de sodium. La proportion de sels de la Glinde, qui reçoit ces eaux, augmente, de ce fait, de 70 °/₀ environ. Elle contient :

EAU DE LA GLINDE. (Milligrammes par litre.)	Matières solides.	Chaux.	Magnésie.	Chlore.	Acide sulfurique.
Avant de recevoir les eaux résiduaires.	297,2	122,5	27,5	8,8	31,7
Après avoir reçu les eaux résiduaires.	492,0	172,0	35,0	88,7	35,7

D'après les expériences que nous avons relatées plus haut, une cau semblable n'offrirait pas de danger direct pour la vie des poissons.

L'industrie des *salines* et celle de la *potasse* abandonnent de très fortes quantités de sel marin, de chlorures calcique, magnésique et potassique ; en outre, du gypse et du sulfate de magnésie. L'industrie de la potasse donne surtout beaucoup de chlorure magnésique.

Lorsque nous avons parlé des impuretés naturelles des eaux, nous avons fait connaître la composition d'une série de *sources salées*. Nous y renvoyons le lecteur.

C'est ici qu'il convient, en outre, de parler des sources salées que la société pour l'exploitation des mines de cuivre de Mansfeld introduisit dans la Saale, en épuisant les eaux qui envahirent les puits et les galeries de ses mines, lors de la célèbre inondation du « lac salé ». Les analyses suivantes de K. Kraut fournissent des données précises [1]. On trouvera plus loin les quantités d'eau pompées journellement.

EAUX DE LA GALERIE COLLECTIVE. (Grammes par litre.)	1884 — 14 août.	1889 — 3 novemb.	1892 — 27 septemb.	1893 — 31 mai.
Chlorure de sodium	28,61	88,05	97,69	94,46
— de potassium. . .	0,32	4,50	2,73	1,06
— de magnésium . .	0,93	0,85	0,24	0,89
Sulfate de calcium	3,36	3,66	5,73	5,73
— de magnésium. . .	—	0,66	0,97	0,39
— de strontium . . .	0,05	—	0,06	0,07
Carbonate de calcium . . .	0,12	0,03	—	—
— magnésique. . .	0,08	0,27	0,69	0,06
Total.	33,44	97,99	108,10	102,66

[1] D'après les documents statistiques de la Société de Mansfeld, que j'ai été autorisé à publier.

Dans les salines on produit artificiellement des eaux salées et on les concentre. Après la cristallisation du sel marin, les eaux mères, qui sont sans usage et par conséquent sans valeur, sont conduites à la rivière.

J. König [1] a analysé une série de ces eaux résiduaires de salines. Nous donnons quelques exemples de ses analyses :

Nos d'ordre.	1 LITRE RENFERME :	1. WESTENHOTTEN.		2. WERL.		
		Source.	Eau mère.	Source.	Eau mère.	Eau mère concentrée. [2]
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	Chlorure de sodium . .	77,966	238,040	68,581	51,063	46,260
2	— de potassium .	1.364	35,720	1.779	54.585	84,552
3	— de lithium . .	0,042	1,171	0,071	4,700	8,983
4	— de calcium . .	2,337	51,284	4,253	245,880	382,828
5	— de strontium .	0,119	1,067	0,074	2.730	4.645
6	— de magnésium.	0,241	1,107	—	101,311	157,983
7	Bromure de potassium	0,030	0,556	0,014	1,911	3,375
8	Iodure de potassium . .	0,0003	0,002	0.001	0,005	0,014
9	Sulfate de magnésium .	0,610	0,967	1,443	0,276	0,928
10	— calcique	1,407	—	0,347	—	—
11	Carbonate calcique. . .	1,875	—	1,267	—	—
12	Nitrate de calcium . .	—	—	—	1,897	3,298
13	Carbonate magnésique .	0,213	—	—	—	—
14	Nitrate ammonique. . .	0,023	0,107	—	—	—
15	Carbonate ammonique .	—	0,096	—	—	—
16	Terre siliceuse.	—	—	0,023	0,003	0,060
	Total. . . .	86,2273	330,117	77,853	464,361	692,917
	Poids spécifique	1,059	1,213	1,055	1,428	1,800

[1] J. KÖNIG, *Verunreiningung der Gewässer*, II. Aufl., Bd II, S. 383.

[2] Ici il s'est glissée une erreur dans l'original; un chiffre erroné ou une interversion de colonne. J'ai conclu pour cette seconde alternative.

D'après K. Kraut [1], à qui nous empruntons ces renseignements, les eaux résiduaires de l'industrie de la potasse se composent en réalité : 1° des dernières eaux mères provenant du travail des sels bruts (carnallite); 2° des lessives du traitement de la kieserite en roches ; 3° des eaux salines résultant du traitement de la kaïnite.

Les dernières eaux mères de la fabrication du chlorure potassique montrent une composition bien constante, comme nous l'apprennent les analyses suivantes, dont la seconde a été faite par K. Kraut :

	gr.	gr.
Chlorure sodique	12,12	12,93
— potassique	11,58	10,57
— magnésique	282,16	272,79
Sulfate magnésique	31,40	26,61
Eau	662,80	677,10

Je mentionnerai maintenant les chiffres relatifs aux quantités de sels qui furent conduites à la rivière, sous forme de résidus de cristallisation provenant des fabriques de chlorure potassique du bassin de Magdebourg-Halberstadt (Stassfurt, Leopoldshall, Neu-Stassfurt, Douglashall, Schmidtmannshall). Ces quantités correspondent respectivement à une production quotidienne de 46,500 quintaux, soit 2,325,000 kilogrammes, en 1886 (I), et de 70,000 quintaux, soit 3,500,000 kilogrammes, production atteinte aujourd'hui (II). Voici ces chiffres :

	I	II
Chlorure magnésique	456,142 kilogr.	686,665 kilogr.
— sodique	20,599 —	31,010 —
— potassique	18,205 —	27,405 —
Sulfate magnésique	47,639 —	71,715 —

Les eaux résiduaires provenant (en 1887) du travail de 1,500,000 quintaux, soit 75,000,000 killogrammes, dont on a recueilli 25,000,000 kilogrammes, contiennent 90 parties de

[1] K. KRAUT und W. LAUNHARDT, *Der Strassfurt-Magdeburger Langenkanal.* Eine Denkschrift Darmstadt. Winter, 1888, S. 9.

sel marin sur 100 parties de matière sèche; le reste consiste en chlorure potassique, chlorure magnésique et sulfate magnésique. Cela correspond, pour cette fabrication, à un écoulement en sels de

90,270	kilogrammes	de chlorure sodique	par jour.
3.630	—	de chlorure potassique	—
4,455	—	de chlorure magnésique	—
4,175	—	de sulfate magnésique	—

Le travail de la kaïnite a porté, en 1886, sur 69,648,650 kilogrammes, pour lesquels K. Kraut a calculé une décharge dans les cours d'eau de :

24,150	kilogrammes	de chlorure magnésique	par jour.
29,700	—	de chlorure sodique	—

Il est très difficile d'estimer les inconvénients occasionnés par les eaux minières, parce qu'elles sont souvent très abondantes. Cependant F. Fischer a calculé que les eaux résiduaires de la mine d'argent de Freiberg amènent journellement dans le Triebischbach la somme respectable de 560 kilogrammes de sulfate ferreux et de 2,280 kilogrammes de sulfate de zinc. La masse de sel marin que la Saale entraîne dans l'Elbe, surtout à la suite de l'inondation des mines de Mansfeld par les eaux du lac salé, se chiffre chaque jour par milliers de quintaux. K. Kraut [1], par ses propres recherches, a trouvé que la quantité de sels amenés, par les galeries collectrices, dans les eaux de la Saale, était :

le 14 août 1884, de.	1,595,300	kilogrammes;
le 25 juin 1886, de	2,072,950	—
le 3 novembre 1889, de. . . .	4,826,400	—
le 27 septembre 1892, de . . .	11,754,950	—
le 7 février 1893, de	12,488.000	—
le 31 mai 1893, de	13,155,250	—

Le maximum s'éleva même une fois à 13,217,330 kilogrammes en vingt-quatre heures, c'est-à-dire que 26 trains

[1] Documents statistiques de la Société de Mansfeld.

complètement chargés et composés chacun de 50 wagons de 10,000 kilogrammes auraient à peine pu transporter la masse de sels de *cette seule journée.*

Les chiffres qui viennent d'être cités, relatifs aux eaux venant des fabriques établies sur le banc minier du Harz méridional, bien qu'ils soient déjà très élevés, sont bien inféreurs à ceux qui expriment les quantités de sel marin contenues dans les eaux d'*une seule* usine de la Société des mines de cuivre de Mansfeld.

K. Kraut [1] établit par jour et par seconde les quantités de déchets dégorgés dans l'Elbe et qui forment l'ensemble des résidus des fabriques de chlorure potassique dans le bassin de Magdebourg-Halberstadt ou du Harz méridional :

	Par jour.	Par seconde.
Chlorure magnésique . .	484,445 kilogr.	5,607 kilogr.
— sodique	140,400 —	1.625 —
— potassique. . .	21,586 —	251 —
Sulfate magnésique . . .	49.939 —	578 —
Total	696,370 —	8,061 —

Il est clair qu'avec de pareilles quantités, la proportion de sels de ces cours d'eau est exagérée. Les analyses suivantes d'eau de la Saale et de l'Elbe, faites par K. Kraut [2], donnent une idée plus nette de la chose. (Voir le tableau page 293.)

Les sels que contiennent les eaux de la Saale en amont de Halle [3] proviennent de différentes fabriques de potasse. A Rothenbourg s'y sont ajoutées les eaux de la galerie collectrice. Et cependant, en dépit de cette grande abondance de sels, la Saale est restée poissonneuse. D'après ce que m'affirme

[1] KRAUT und LAUNHARDT, *Denkschrift,* S. 12.

[2] KRAUT, *Neue Untersuchungen über die Zuflüsse der Saale.* Darmstadt, 1890. C. F. Winter.

[3] L'Elbe, à Magdebourg, a reçu, en outre, les eaux de deux fabriques de soude SOLVAY, qui fournissent un résidu de 190,300 kilogrammes de chlorure calcique et une quantité au moins double de chlorure sodique.

un pêcheur assidu de ce cours d'eau, la remonte du saumon y aurait même augmenté, ce qu'il attribue à la présence des sels dans la rivière.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Saale. (3 novembre 1889.)		Elbe à Magdebourg. (27 juillet 1886.)	
	En amont de Halle.	Rothenbourg.	Rive gauche.	Rive droite.
Chlorure sodique	118,8	937,1	203,5	71,3
— potassique . . .	11,8	51,1	30,5	14,2
— magnésique . . .	—	10,7	20,2	—
Carbonate magnésique. . .	63,6	69,8	48,9	26,9
— calcique	89,6	70,3	24,3	33,5
Sulfate calcique.	224.9	260,7	141.3	60,4
Acide silicique	5,9	8,3	8,1	6,5
Oxyde ferrique	—	3,5	0,7	6,7
Carbonate sodique.	13,4	—	—	1,2
Total.	528,0	1411,5	477,5	220,7

Le Bode est aussi passablement riche en poissons migrateurs pendant l'été; c'est ce qui résulte du moins des renseignements que j'ai pu recueillir sur les lieux mêmes (à Leopoldshall en 1901). Cependant, il paraît que pendant les chaudes journées de l'été, en aval du débouché des eaux résiduaires de Neustassfurt, les poissons sont pris de vertige et, couchés sur le flanc, ils se laissent emporter au fil de l'eau jusqu'à une certaine distance; mais ils se rétablissent de cette indisposition. On n'a pas encore observé de cas de mort due aux sels. Par contre, tous les poissons du Bode meurent chaque année, dès que commence la campagne sucrière. Ce n'est que tout près du rivage que le fretin peut péniblement passer l'hiver, tant les eaux sales des sucreries les privent d'oxygène. Le long de la Saale, il y a environ 40 fabriques de sucre.

Dans l'Elbe, la richesse des eaux en sels, même lors de la période critique de 1890, est naturellement sans importance. Les analyses de l'eau de l'Elbe, rive droite et rive gauche, nous apprennent, comme le montre d'ailleurs le tableau de la page 293, et comme nous l'avons déjà fait ressortir, que les sels ne se mélangent que très lentement aux eaux qui les reçoivent.

Industrie chimique. — Nous entendons par là essentiellement la grande industrie chimique : la fabrication des acides minéraux, du sel de Glauber, de la soude, du chlorure de chaux, etc., en y ajoutant celle des superphosphates.

On sait combien chaque usine apporte de variété dans sa fabrication et quelle quantité d'eaux résiduaires elle peut fournir.

Le tableau ci-après, résultat de recherches conduites avec le plus grand soin, renseigne sur les eaux résiduaires d'une grande fabrique de produits chimiques où je fus appelé pour une question se rapportant à ces eaux. (Voir le tableau page 295.)

Les produits cités dans ce tableau se fabriquent depuis des années; cependant la production de certaines industries varie selon la saison. La fabrique d'ammoniaque, par exemple, donne en hiver jusqu'à 150 mètres cubes d'eaux résiduaires.

Certaines industries qu'on ne rencontre que rarement ne sont pas mentionnées ici.

A ces 250 mètres cubes en chiffre rond, il faut ajouter 5,600 mètres cubes d'eau venant des appareils de condensation et des appareils réfrigérants, de sorte que cette usine déverse, chaque jour, 5,850 mètres cubes d'eaux résiduaires dans la rivière.

Pour un régime d'eau de 8 mètres cubes, au minimum, par seconde, la dilution est d'environ 1 : 120; mais en tenant compte de la dilution déterminée par les eaux de condensation et de réfrigération de l'usine, elle atteint 1 : 2,800.

Dans les *fabriques d'acide sulfurique*, ce qui nous intéresse,

ce sont les résidus de pyrites amoncelés en tas et en même temps les cendres provenant des foyers des machines à vapeur. Sous l'action de l'air et en présence d'eau, les composés du soufre et du fer sont oxydés et il se forme des sels ferreux solu-

	Mètres cubes.		
1. Fabrique de bleu : Eaux mères des dernières lessives de bleu. . . .	30	par jour.	
2. — Eaux mères de la précipitation du bleu clair . .	6	—	
3. — Eau mère bleu foncé et eau de lavage.	7	—	
4. Boue cyanurée sortant des filtres-presses dans la fabrication des verts	3	—	
5. Bleu de Paris : Eau mère bleu clair et eau de lavage.	2,5	—	
6. — Eau mère bleu foncé et eau de lavage	9	—	
7. Lavage du soufre : Eau de lavage.	0,5	—	
8. Fabrique d'ammoniaque : Eau bouillie renfermant du gaz	90	—	en moyenne.
9. Thorium : Oxalate brut	85	—	
10. — Oxalate pur	3	—	
11. — Décomposition du sulfate	7	—	
12. Acide citrique : Citrate de chaux acheté . . .	2,75	—	en moyenne.
13. — Citrate de chaux précipité. .	1	—	
14. Borax : Eau mère.	0,55	—	en moyenne.
15. Acide borique : Eau mère	0,55	—	en moyenne.
16. Cuivre de cémentation : Lessives	1,5	—	
Total.	249,35		

bles, qui peuvent être enlevés par les eaux météoriques. Lorsque les pyrites sont cuivreuses ou qu'elles contiennent de la blende, on peut prévoir la formation de sels cuivriques ou zinciques et, ordinairement, de combinaisons arsenicales, à cause de la présence d'arsenic. Comme les pyrites brutes renferment jusqu'à 2 °/₀ d'arsenic, la plupart des acides sulfuriques du commerce, fabriqués au moyen de pyrites, contiennent de l'arsenic, et une partie de celui-ci passe dans les produits préparés au

moyen de cet acide. C'est ainsi qu'on trouve de l'arsenic dans l'acide chlorhydrique, dans le sel de Glauber et dans la soude brute; par suite de l'emploi de cette dernière pour la fabrication des savons, on a même trouvé de l'acide arsénieux dans les savons.

A propos de la fabrication de l'*acide chlorhydrique*, on pourrait parler des lessives manganésifères que les usines allemandes, sans exception, ont toutefois l'habitude d'utiliser. En Angleterre, elles passent en quantités considérables dans les rivières. Elles renferment jusqu'à 25 °/₀ de chlorures solubles (22 °/₀ de chlorure manganeux et 5 à 6 °/₀ de chlorure ferreux), indépendamment d'acide chlorhydrique et de chlore libres.

L'*industrie de la soude* devait être prise sérieusement en considération jadis, lorsqu'on employait le procédé Leblanc, à cause des sulfures métalliques solubles enlevés aux amas de résidus et de l'hydrogène sulfuré provenant de leur décomposition. Richters a trouvé, dans 1 kilogramme de résidus : 376 grammes de sulfure de calcium, 27 grammes d'hyposulfite de calcium, 7 grammes de sulfite de calcium, 19 grammes de sulfure de fer et 65 grammes de chaux vive. C'était là une source riche de composés nuisibles.

L. Grandeau [1] a trouvé dans les eaux provenant de l'épuisement de ces résidus :

Hydrogène sulfuré	0gr,019	par litre.
Sulfures alcalins	0,164	—
Hyposulfite.	7,201	—
Acide sulfurique	1,139	—

Voici les résultats des analyses qu'il a faites d'eaux résiduaires d'une soudière : I se rapporte aux eaux prises dans le bassin de décantation; II, aux eaux prises à la sortie de la fabrique, alors qu'elles étaient mélangées à d'autres eaux; III, à l'eau de la Seille, après qu'elle avait reçu ces eaux résiduaires.

[1] *La soudière de Dieuze*, p. 23.

	Grammes par litre.		
	I	II	III
Sulfure de calcium (hydrosulfite).	0,39	0,10	0,003
Hyposulfite de calcium	16,60	2,52	0,113
Chlorure de calcium	28,88	20,58	—
— de sodium	—	11,12	3,380
— manganeux.	27,67	17,54	0,022 [1]
Sulfate sodique	3,22	8,22	0,031
— magnésique	—	3,21	0,030
— calcique	1,76	2,53	0,452
Total d'après GRANDEAU.	78,15	65,82	4,578

En Allemagne, dans les fabriques de potasse qui travaillent encore par le procédé Leblanc, les résidus sont soigneusement remis en œuvre à l'avantage des fabriques et de nos cours d'eau.

Le *procédé Solvay* (soude à l'ammoniaque), qui supplanta le procédé Leblanc, permet un travail très soigné. Cependant de grandes quantités de chlorure de calcium sont rejetées par les usines, et il faut porter son attention sur la chaux libre et sur les moyens de l'éviter. En cas d'accidents dans le travail, l'ammoniaque peut aussi arriver dans les rivières. J. König a trouvé dans ces eaux résiduaires :

ESSAI.	Chlorures de sodium.	Chlorures de calcium [2].	Chaux libre.
	gr.	gr.	gr.
N° 1	65,59	37,68	5,31
N° 2	76,40	37,42	3,96

[1] A l'état d'oxyde.

[2] D'après K. KRAUT, 100 parties de chlorure sodique produisent théoriquement 54,54 parties de soude. Cet auteur a calculé que pour

Citons encore ici les *fabriques de superphosphates*, qui préparent des produits riches en partant de phosphates précipités. Elles rejettent alors du chlorure de calcium en quantités considérables et parfois aussi des acides minéraux libres.

Les FABRIQUES D'OBJETS MÉTALLIQUES sont nuisibles à cause des acides qu'on emploie pour décaper les morceaux de fonte brute et autres pièces, de façon à les débarrasser des oxydes qui les recouvrent. Naturellement les eaux résiduaires contiennent aussi des sels de métaux vénéneux : cuivre, zinc, fer (oxyde ferreux), arsenic, chrome, nickel, etc. Les solutions acides sont généralement neutralisées par un excès de chaux ; les métaux sont ainsi précipités, mais de la chaux libre est entraînée dans le cours d'eau.

Quelques exemples appuieront cette assertion. Dans les eaux de décapage d'une fabrique d'argent (I) et d'une fonderie de laiton (II), J. König a trouvé en grammes par litre :

	I	II
Oxyde cuivrique	0,87	25,70
— de zinc	—	7,07
Acide sulfurique	11,09	65,99
— nitrique	—	2,24
Protoxyde de fer	0,27	1,15

Dans une zinguerie (I) et dans un établissement de galvanisation (II), les eaux résiduaires du décapage contenaient :

I		II	
Boue ferrugineuse non dissoute.	8,4	Résidu total . . .	10,48
Chlorure ferrique dissous. . . .	202,2	Oxyde cuivrique .	0,04
Acide chlorhydrique libre. . . .	1,5	Cyanogène. . . .	2,63

100 parties de sel marin employées, 44,3 parties de chlorure sodique et 56,5 parties de chlorure calcique, avec de la chaux vive, passent dans les eaux résiduaires. Dans la pratique, les choses ne se passent pas aussi favorablement, ainsi que le prouvent les chiffres ci-dessus.

Enfin J. Kõnig a examiné des eaux résiduaires de décapage de sept tréfileries et a trouvé les résultats suivants :

	gr gr		
Protoxyde de fer [1].	0,113 — 2,686 par litre.	Moyenne. .	1,126
Acide sulfurique. .	0,070 — 4,146 —	— . .	1,507
Chaux	0,030 — 4,812 —	— . .	0,852

Les eaux résiduaires qui contiennent des métaux lourds méritent spécialement notre attention à cause de leur toxicité pour les poissons. On peut les séparer facilement par des additions de chaux en même temps qu'on neutralise les acides. Mais de cette façon, comme nous l'avons vu par les dernières analyses, de grandes quantités de chaux, nuisible aux poissons, se substituent aux acides et aux sels ferriques dont la masse était rendue très supportable, grâce à la dilution résultant de leur mélange avec les eaux des rivières.

FABRIQUES DE MATIÈRES COLORANTES. — Ici se place toute la série des matières nuisibles en raison de l'extension et de la diversité de cette industrie. Comme éléments constitutifs des couleurs minérales, citons les sels de fer, de manganèse, de cuivre, de zinc, de plomb, de chrome, de cobalt, de nickel, d'arsenic, de mercure, même d'or. Nous pouvons les retrouver tous dans les eaux résiduaires à côté d'acides libres, d'alcalis, de gaz vénéneux, etc.

De même, les *fabriques de couleurs dérivées du goudron de houille* et, par suite, les usines qui préparent les matières premières pour la fabrication de ces couleurs produisent des résidus nuisibles, des acides libres, de l'acide sulfureux, très vénéneux, ainsi que des résidus de la distillation du goudron, tels que phénols, naphtols et leurs homologues, des composés nitrés des matières premières et des acides sulfoniques correspondants.

[1] En partie à l'état d'oxyde ferrique insoluble.

Usines a gaz et industries qui s'y rattachent. — Dans la *fabrication du gaz d'éclairage*, il faut remarquer ce qu'on appelle les eaux de condensation du gaz et les eaux d'absorption. Dans les unes et les autres, on trouve du carbonate ammonique, du sulfure et de l'hyposulfite ammoniques, à côté de chlorure et de sulfocyanate ammoniques, ce dernier composé étant très vénéneux pour les végétaux; on y trouve encore du ferrocyanure ammonique et parfois des composés cyanurés, conjointement avec des résidus de goudron, du phénol, etc.

Aujourd'hui, grâce au prix élevé de l'ammoniaque, la grande majorité des composés ammoniacaux sont soigneusement récupérés.

Néanmoins, lorsqu'il y a un désordre dans la fabrication, ces eaux sont un danger permanent, comme on peut le voir par l'analyse qui suit [1] :

DANS 1 LITRE :

	gr.
Sulfocyanate ammonique	1,6
Carbonate ammonique	57,3
Sulfure ammonique	9,2
Sulfite ammonique	1,5
Chlorure ammonique	10,4
Sulfate ammonique	0,14
Hyposulfite ammonique	Trace.
Ferrocyanure ammonique	9,68
Ammoniaque totale	29,4
Soufre total	6,4

Hundershagen et Philips analysèrent les eaux résiduaires d'un générateur de gaz. Les résultats suivants sont les moyennes tirées de deux analyses dont les chiffres ne présentaient pas de grandes différences entre eux :

[1] J.-R. Applayard und P. Kay, *Chem. Centralbl.*, 1888, S. 1074.

MATIÈRES CONTENUES DANS 1 LITRE.	I Eau du générateur.	II Eau du Scrubber.	III Eau du laveur.
	Milligrammes.	Milligrammes.	Milligrammes.
Matières en suspension . . .	95,0	11,0	5,5
Ammoniaque	230,8	112,7	23,3
Acide cyanhydrique	1,3	13,5	6,6
— sulfocyanhydrique . .	—	Trace.	—
— sulfhydrique.	10,4	23,7	5,3
Sulfate ammonique.	10,8	Trace.	—
Hyposulfite ammonique. . .	18,6	20,0	7,8
Chlorure ammonique. . . .	Trace.	Trace.	—
Hydrocarbures, phénols, etc.	Trace.	Trace.	Trace.
Acide sulfurique total. . . .	51,1	43,7	43,9
Soufre total	47,3	48,5	26,2
Ammoniaque totale.	243,7	113,2	23,3

I. Quelque peu souillée par de la poussière de charbon; faible odeur de goudron et d'hydrogène sulfuré.

II. Contenait de petits flocons de goudron; odeur sensible d'acide cyanhydrique; odeur forte d'hydrogène sulfuré.

III. Quelques flocons de goudron; forte odeur de goudron; odeur faible d'hydrogène sulfuré.

Il est à remarquer, en outre, que les résidus de la distillation — une fois l'ammoniaque recueillie — méritent spécialement l'attention à cause de la présence de substances vénéneuses, telles que dérivés du goudron, composés cyanurés et sulfurés, sulfites et hyposulfites; et cependant ces résidus sont généralement passés sous silence!

J. König a trouvé entre autres dans 1 litre de ces résidus de distillation :

	gr.
Résidu d'évaporation	20,4
Sulfocyanure de calcium	2,3
Sulfure de calcium	2,6
Hyposulfite de calcium	1,0
Phénols [1]	0,6
Chaux	6,4

et dans huit échantillons d'eaux résiduaires de la condensation de l'ammoniaque dans une usine à coke, il trouva entre autres par litre :

	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
	gr.	gr.	gr.
Phénols.	3,79	1,07	2,22
Ammoniaque . . .	0.77	0,03	0,21
Chaux.	1,15	0,25	0,60
Matière sèche . . .	4,33	2,12	2.89

La *chaux d'épuration du gaz* et les autres matières épurantes, les fabriques de gaz, d'huile, de bois, de goudron et de pétrole brut peuvent donner lieu à la production de sulfures métalliques, de sels de fer solubles, de produits ammoniacaux nuisibles, de composés sulfo-cyanurés, de phénols qui, lorsque les gazomètres sont mal fermés, imprègnent le sol en infectant les eaux souterraines.

Les *usines travaillant le goudron* sont nuisibles aussi, à cause des phénols et crésols qu'elles déversent. J. König a constaté que les eaux résiduaires de ces fabriques étaient en partie fortement alcalines avec 2gr,40 d'ammoniaque libre par litre, en partie fortement acides avec 3gr,13 d'acides libres.

Des eaux résiduaires de fabriques d'asphalte renfermaient par litre 23 grammes d'ammoniaque et 15 grammes de phénols et crésols.

TRAVAIL DU BOIS, FABRIQUES DE PATE DE BOIS, FABRIQUES DE PAPIER. — Les industries qui ont pour objet de débiter le bois

[1] On put les extraire par l'éther; d'autres phénols avaient formé des combinaisons calcaires; l'eau était naturellement fortement alcaline.

en morceaux, telles que chantiers, menuiseries, scieries, ne donnent pas, en réalité, d'eaux résiduaires, mais des résidus grossiers qui, arrivant dans l'eau, en modifient les conditions normales, grâce à l'oxydation de certaines matières renfermées dans les parcelles de bois (tannins), grâce aussi à des phénomènes de putréfaction qui s'accomplissent dans les matières résiduaires et qui absorbent l'oxygène de l'eau. La sciure finement divisée peut offrir des inconvénients particuliers. C'est le cas notamment en Scandinavie, où on laisse aux torrents le soin d'emporter les déchets des scieries. Comme je l'ai pu constater moi-même, la beauté des chutes de Trollhätt en souffre beaucoup, sans parler des autres dommages qui en résultent.

Dans ces derniers temps, le bois a pris une place toute spéciale dans la fabrication des matières cellulosiques. On le débite en morceaux, qu'on transforme directement en papiers grossiers et en carton ; ou bien on réduit ces morceaux en fibres, en les faisant bouillir dans des lessives déterminées; ou bien, enfin, les troncs résistants de nos conifères, soigneusement dépouillés de leur écorce et de leurs nœuds, sont découpés en morceaux larges comme la main, traités par une solution bouillante de bisulfite de calcium, dans de solides chaudières et sous une pression de plusieurs atmosphères. On les convertit ainsi en une masse singulière d'aspect spongieux, laquelle, divisée par un broyeur et lavée, fournit la matière première qui sert à faire nos papiers d'imprimerie et même nos meilleurs papiers à lettre.

Ces trois traitements livrent des eaux résiduaires différentes. A côté du bois brut découpé, nous pouvons ranger la sciure. Les fabriques qui se servent de lessives caustiques jettent dans les cours d'eau des fibres ligneuses, mélangées à une partie de ces lessives et aux eaux de lavage. Ce mélange contient des produits oxydables de l'épuisement du bois, parmi lesquels il y a aussi des matières azotées et des substances putrescibles. Je n'ai pas pu trouver de renseignements précis sur la composition de ces lessives caustiques de la pâte de bois.

Les fabriques de *cellulose au sulfite* (procédé Mitscherlich)

jettent également dans les rivières, outre les déchets de fibres ligneuses, les résidus des eaux de cuisson et des eaux de lavage, que l'on peut mettre au nombre des eaux résiduaires les plus funestes aux poissons, en raison de leur teneur en acide sulfureux libre.

Les lessives de cuisson du procédé au sulfite contiennent, d'après

		H. Wichelhaus,	A. Frank,
Matières organiques jusqu'à.		81272 milligr.	60000 milligr.
Acide sulfureux	libre . . .	2940 —	14790 —
	combiné .	5842 —	
Acide sulfurique		4434 —	1200 —
Chaux.		8432 —	7400 —

Une expertise que j'ai faite en 1886 pour instruire une demande de concession d'une fabrique de cellulose au sulfite en Silésie, m'a fourni l'occasion d'entreprendre des recherches sur les eaux résiduaires d'une fabrique badoise de ce produit. A cette époque, ces études furent exécutées dans mon laboratoire de la station expérimentale d'Alsace-Lorraine. Tout récemment encore, j'ai eu à m'occuper de recherches du même genre.

Le tableau ci-après contient les résultats de ces analyses exprimés en grammes par litre d'eau. Un mot d'explication. Sous le nom de lessive primitive, il faut comprendre la solution de bisulfite active ajoutée au bois dans la chaudière. Parmi les 40gr03 d'acide sulfureux trouvés, 23gr33 étaient libres ou demi-combinés, 16gr66 à l'état de monosulfite. Les acides libres étaient presque exclusivement de l'acide sulfureux. La teneur en chaux indiquée dans la cinquième colonne du tableau comprend l'excès de chaux après soustraction de celle qui est combinée à l'acide sulfurique. « Substance organique » (septième colonne) comprend naturellement l'acide sulfureux actif. Enfin, les chiffres indiqués dans la quatrième colonne expriment, en c. c. $^{1}/_{10}$ normal NaO, l'acide libre existant dans les lessives de cuisson après achèvement du processus.

	SO^3 quantité totale. Grammes par litre.	SO^3 libre ou demi-combiné. Grammes par litre.	Acide libre exprimé en SO^3. Grammes par litre.	Acide libre exprimé en c. c. $^1/_{10}$ normal NaO.	CaO. Grammes par litre.	Gypse. Grammes par litre.	Substance organique d'après Kubel.
1	40,03	23,33	26,69	—	14,63	5,0	—
2	1,86	0,26	—	116,7	1,40	11,0	11935
3	0,43	—	—	18,7	—	—	725
4	0,05	—	—	2,4	—	—	195
5	0,19	—	—	8,3	—	—	1190

Dans les eaux résiduaires de fabriques de papier de pâte de bois, J. König a trouvé, indépendamment de 688 milligrammes de matières dissoutes, 257 milligrammes de matières organiques et 192 milligrammes de matières organiques en suspension.

Outre le bois, on emploie la paille et l'alfa, ce dernier surtout en Angleterre. La *paille*, soumise, après mouture, à l'action de lessives spéciales dans des marmites, est transformée en cellulose. Dans les eaux résiduaires, on a trouvé jusqu'à 8378 milligrammes de résidu, formé, pour la moitié environ, de matières organiques et renfermant 90 milligrammes d'azote. *L'alfa*, qui est traité d'une façon analogue, fournit des eaux résiduaires contenant jusqu'à 40000 milligrammes de résidu total, dont 9000 milligrammes de matières organiques avec 770 milligrammes d'azote par litre.

Les *fabriques de papier et de carton*, qui poussent plus loin le travail des produits de première fabrication dont il vient

d'être parlé, y ajoutent d'autres fibres et des sels d'alumine, pour augmenter le poids des papiers préalablement blanchis, et se servent de colle, etc., pour le polissage et le glaçage. Pour le blanchissage, on fait usage de chlorure de chaux; une partie restée sans emploi s'écoule dans la rivière. Dans 1 litre de ces eaux de blanchissage, C. Karmrodt a trouvé :

Acide chlorhydrique libre . .	51 à 58	grammes.
Chlore jusqu'à	21	—
Chlorure ferreux	38 à 46	—
— manganeux	77 à 142	—

Dans la préparation des papiers peints, des couleurs minérales nuisibles peuvent intervenir et leurs résidus sont habituellement abandonnés aux cours d'eau. Les *fabriques de carton* et surtout les *fabriques de carton-pierre*, qui utilisent les chiffons les plus grossiers, causent beaucoup de tort aux cours d'eau. Lorsqu'on déchire ces chiffons (j'ai vu, dans une de ces fabriques, des pièces de lingerie et des vêtements tout entiers, hors d'usage bien entendu, de toute provenance et dans un état de malpropreté parfaite), il en tombe une poussière très fine, que l'on abandonne évidemment de préférence aux cours d'eau. Des appareils servant à laver la bouillie des tissus déchiquetés, il sort un liquide noir, dégoûtant et écumeux. Dans ce cas, il faut redouter aussi le préjudice résultant du transport de certains germes pathogènes. Les cartons achevés contenaient 2.73 °/₀ d'azote (provenant de la laine). Les eaux résiduaires, d'après une expertise que j'ai faite, renfermaient par litre :

Résidu sec total.	537	milligrammes.
Cendres	309	—
Perte à la calcination	220	—
Azote total	94	—
Ammoniaque	0,3	—

L'eau contenait, par litre, un dépôt de 214 milligrammes, dont 138 milligrammes de matière organique.

Dans les eaux résiduaires de *fabriques de carton de paille*,

J. König a trouvé, par litre : 2454 milligrammes de matières organiques en suspension, 12654 milligrammes de résidu soluble total et, dans ce dernier, 5848 milligrammes de matières organiques et 138 milligrammes d'azote. Il y avait 2181 milligrammes de chaux.

Les analyses suivantes montrent à quel point les rivières souffrent de ce mélange avec les résidus des fabriques de papier et à quel point la composition de leurs eaux en est modifiée :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Matières en suspension.		Matières dissoutes.				
	Organiques.	Inorganiques.	Organiques.	Inorganiques.	Chaux.	Acide sulfurique.	Azote.
Ruisseau à truites à Hillegossen [1] :							
En amont } de la fabrique de papier.	0	0	35	342	147	96	—
En aval } de la fabrique de papier.	70	95	178	375	152	119	—
L'Aa à Münster [2] :							
En amont } de la fabrique de papier de paille.	6	16	102	377	137	77	5
En aval } de la fabrique de papier de paille.	72	70	237	434	201	129	11

On pourrait encore citer ici les *fabriques de coton-poudre* ou de *celluloïde*, en un mot les fabriques où on prépare des *nitrocelluloses ;* en outre, celles où on fait de la *poudre prisma-*

[1] D'après J. König, cette fabrique opère sur des chiffons et de la cellulose.

[2] D'après E. Haselhoff.

tique[1], de la *dynamite* et de la *nitroglycérine*. Je n'ai vu qu'une fabrique de celluloïde, et elle déversait de l'acide nitrosulfurique directement dans la rivière. La même chose se passe probablement dans les autres établissements similaires.

Dans les fabriques de *papier-parchemin*, de l'acide sulfurique doit s'écouler avec les eaux de lavage.

Industries textiles. — Avant de nous occuper des eaux résiduaires de ces industries elles-mêmes, nous devons d'abord nous demander quels sont les dangers qu'offre pour nos cours d'eau l'apprêt du lin et du chanvre bruts ainsi que des laines en vue de leur exploitation commerciale.

Rouissage du lin. — Comme on le sait, le lin en bottes est abandonné à une putréfaction spontanée dans l'eau, de façon à séparer ses fibres constitutives. Dans certaines circonstances, on accélère cette putréfaction par l'addition de matières capables de provoquer plus rapidement la fermentation — levure de bière, sang, lait écrémé. Par ce procédé, certaines matières organiques très variées, hydrates de carbone, composés azotés organiques, etc., sont enlevées à la plante, ces matières étant susceptibles d'une décomposition biologique très active. Les produits de la putréfaction absorbent énergiquement l'oxygène, comme F. Reichardt l'a montré le premier; il se forme des acides organiques fétides (acide butyrique et ses homologues) à côté de composés azotés de toute espèce.

Les eaux du rouissage du lin et du chanvre sont funestes, comme chacun le sait, aux poissons de nos rivières.

Fausto Sestini a trouvé dans 1 litre d'eau de rouissage du lin 6140 milligrammes de matières dissoutes, renfermant 663 milligrammes d'azote et 44 milligrammes d'acide butyrique.

Nous devons mentionner ensuite les *eaux de lavage des peaux de moutons*, bien que la durée de leur influence néfaste soit limitée à quelques jours par année. Une commission

[1] L'eau résiduaire des fabriques qui préparent la poudre sans fumée contient de l'acide picrique vénéneux.

anglaise a trouvé, pour 1 litre de ces eaux de lavage, une augmentation en matière sèche totale de 2667 milligrammes, et à côté de 519 milligrammes de matières organiques en suspension, 1810 milligrammes de matières dissoutes, 258 milligrammes de carbone et 55 milligrammes d'azote total.

Les eaux résiduaires des *fabriques de toile et de tissus de coton* sont peu intéressantes, abstraction faite du blanchiment et des dangers qu'il comporte.

J. König donne comme moyenne, pour les eaux résiduaires de cinq fabriques de coton, 190 milligrammes de matières organiques déposées, 502 milligrammes d'impuretés solubles, dont 42 milligrammes seulement de nature organique, comprenant 4 milligrammes de composés azotés par litre.

Dans les *fabriques de soie*, on trouvera à peine des teneurs moitié moindres que celles qui viennent d'être mentionnées.

Les *fabriques de drap* sont beaucoup plus préjudiciables; les laines brutes non lavées ne contiennent que 20 à 25 °/₀ de fibres, en moyenne 10 °/₀ d'eau; le reste est de la crasse, de la graisse et du suint. Outre ces impuretés, les eaux du lavage des laines contiennent des matières servant au nettoyage et à la préparation des fils et des draps. Ces matières sont parfois très singulières : de la soude, du savon, de l'urine, des huiles, du sang, de la fiente de porc, de la terre à foulon, de l'alun, du tartre, des matières colorantes, etc. Il n'est donc pas surprenant que les fabriques de draps déversent des déchets qui ne sont rien moins que propres. Voici, d'après J. König, la composition, par litre, d'une eau de lavage de laine en Angleterre (I); ensuite la composition moyenne des eaux rejetées par quinze fabriques d'étoffes de laine anglaises (II); enfin, celle d'une eau provenant d'une filature de laine (III).

	I	II	III
Matières organiques en suspension.	26116 mgr.	3724 mgr.	640 mgr.
— minérales en suspension .	8710 —	1024 —	190 —
— dissoutes totales.	10994 —	1370 —	1966 —
dont : Matières organiques . .	1325 —	648 —	776 —
Composés azotés. . . .	548 —	200 —	45 —

La troisième de ces eaux relativement pure (si on la compare à I et II) est, d'après König, d'un noir bleuâtre, comme de l'encre. Après avoir séjourné plusieurs jours dans un flacon fermé, elle avait une forte odeur putride. L'auteur a constaté, dans une région de l'Allemagne où les fabriques de drap sont nombreuses, que l'eau d'un ruisseau qui recevait des eaux résiduaires de ces fabriques était également bleu noir, écumeuse et en état de fermentation fétide.

Outre les matières fermentescibles et les déchets des produits bruts, nous avons affaire à du savon et à des alcalis caustiques qui se trouvent dans ces eaux, ainsi qu'aux eaux acides de cette industrie. On entend par là, les eaux savonneuses résultant du lavage des produits après le foulage, lesquelles sont encore chargées des graisses dissoutes dans le savon. Les lessives de savon sont grossièrement décomposées à chaud par l'acide sulfurique, en vue de la séparation et de la récupération des graisses. L'industrie de la *laine d'échiquetage* principalement produit des graisses et des eaux résiduaires particulièrement fétides, parce que les machines à déchirer reçoivent des vêtements, des bas, etc., non lavés. Les graisses récupérées consistent en partie en graisses humaines (graisses de la transpiration) qui ont une odeur répugnante; les acides gras solubles et fétides passent dans les eaux résiduaires et avec celles-ci directement dans les cours d'eau publics.

Des industries analogues, telles que *fouleries, fabriques de feutre, de chapeaux*, les *nettoyages de plumes*, fourniront des eaux résiduaires semblables aux précédentes : matières fermentescibles, substances avides d'oxygène, composés azotés, des savons et certaines matières colorantes.

Dans une eau résiduaire de *foulerie*, J. König a trouvé 2700 milligrammes de matière inorganique, 4615 milligrammes de matière organique, dont 44 milligrammes d'azote. Dans une eau résiduaire d'une *filature de laine*, il a trouvé respectivement 1190 milligrammes, 776 milligrammes et 45 milligrammes des mêmes substances. H. Benedict a déterminé la moyenne pour les eaux résiduaires de trois *nettoyages*

de plumes : 156 milligrammes de matières inorganiques, 25 milligrammes de matières organiques et 172 milligrammes d'azote [1].

TEINTURERIES, BLANCHISSERIES. — Pour les teintureries, on peut s'en rapporter à ce qui a été dit pour les fabriques de couleurs en ce qui concerne la présence de poisons métalliques dans les eaux résiduaires.

Nous devons spécialement remarquer avec H. Fleck, la présence de sels zinciques dans les eaux de *teinture à l'indigo,* et celle de l'arsenic dans les eaux des imprimeries.

D'après König, les *teintureries au bois de Pernambouc et au bois de Campêche* envoyaient dans les rivières des eaux résiduaires contenant, par litre, 820 à 4476 milligrammes de résidu total, dont 1346 milligrammes de matières organiques avec 15 à 21 milligrammes de composés azotés.

Nous trouvons dans le même auteur qu'une teinturerie faisant usage de *bois de Campêche*, d'*indigo* et de *couleurs d'aniline* produisait une eau résiduaire avec 1188 milligrammes de matières en suspension — dont 970 milligrammes de matière organique avec 16 milligrammes d'azote — et 1738 milligrammes de substances dissoutes, dont 408 milligrammes de matières organiques avec 26 milligrammes d'azote. Cette eau était bleu foncé et faiblement acide.

Une teinturerie au *rouge d'Andrinople* (J. König) fournissait une eau résiduaire avec 228 milligrammes de matières en suspension.

Les eaux résiduaires de trois *teintureries de soie* contenaient (J. König) 177 à 1636 milligrammes de dépôt, dont 61 à 1551 milligrammes de matières organiques; en outre, 432 à 1227 milligrammes de matières solubles, parmi lesquelles 255 à 811 milligrammes de substances organiques par litre.

F. Fischer évalue à 15000 mètres cubes par jour la masse des eaux résiduaires d'une *teinturerie de coton.* D'après le

[1] Obtenu par addition des résultats en azote organique, ammoniaque et acide nitrique.

même auteur, l'usine de W. Spindler, près de Berlin, en fournit par jour plus de 10000 mètres cubes.

On voit par là que de petits cours d'eau sont considérablement souillés par les résidus des teintureries.

Ainsi H. Fleck trouva, par litre, en amont (I) et en aval (II) d'un village situé sur la Mulde et dans lequel il y avait plusieurs teintureries :

EAU DE LA MULDE.	I	II
	Milligrammes.	Milligrammes.
Sulfate calcique.	288	256
Carbonate calcique	26	53
— magnésique	78	79
— sodique.	68	80
Sel de cuisine.	118	162
Sulfure ammonique	94	91
Substances organiques.	196	360
Total.	869	1081
Et, en outre, matières en suspension	1270	18200
Les matières en suspension de la Mulde renfermaient °/₀ :	Pour cent.	Pour cent.
Poussière de charbon et matières fibreuses .	67.13	34.50
Sable et phosphate	23.25	47.64
Sulfure de cuivre	0.70	1.37
— de zinc	0.02	0.54
— de fer	8.41	15.95

Non seulement les cours d'eau sont envahis par des substances de cette nature, mais encore lorsque l'autoépuration chimique a produit ses effets et que l'eau ne contient plus de sels métalliques dissous, ni de matières colorantes, on trouve les produits vénéneux dans la *boue des talus*. Ainsi

H. Fleck a trouvé, à l'état de sulfures, dans ces boues d'un village riche en teintureries sur la Pleisse :

Cuivre.	0.195 °/o
Plomb.	0.018 —
Arsenic	0.025 —
Fer	7.730 —

Pour les teintureries, nous devons remarquer en outre que, étant donnée la coloration des eaux résiduaires, on opère souvent des épurations plus ou moins efficaces qui diminuent, il est vrai, la somme des impuretés, mais qui, d'autre part, envoient dans les cours d'eau les produits souvent dangereux de l'épuration chimique, tels que chaux, sels de fer et d'alumine.

J. König a constaté que l'eau résiduaire de la teinturerie, dont il a été question plus haut, était d'abord acide et bleu foncé, ensuite brunâtre et alcaline. La quantité de matières en suspension était descendue à 92 milligrammes; par contre, la quantité de matières dissoutes s'était élevée à 3358 milligrammes, dont 624 milligrammes de matières organiques, à opposer à 408 milligrammes avant l'épuration. La quantité des matières organiques facilement oxydables était plus que doublée.

Dans les *blanchisseries*, les eaux résiduaires sont principalement alcalines, renferment du savon, du chlorure calcique, du sulfate calcique et de plus ou moins fortes quantités de chlorure de chaux ou de chlore libre.

J. König a trouvé dans 1 litre d'une eau résiduaire de blanchisserie :

Matières en suspension.	3036	milligrammes.
dont : Oxyde ferrique et alumine.	118	—
Chaux.	1489	—
Matières solubles.	4615	—
dont : Chaux.	2510	—
Chlore (combiné).	1553	—

Les *petites blanchisseries* sont surtout funestes parce qu'elles dépeuplent les ruisseaux, notamment en Alsace, par l'introduction des résidus de chlorure de chaux mal lavé.

Pour ce qui regarde la Fecht, dans le Münsterthal, cette négligence, ainsi que j'ai pu le constater moi-même, a complètement fait disparaître la truite, qui abondait dans ce ruisseau.

. . . .

TANNERIES ET FABRIQUES DE COLLE. — Parmi les eaux résiduaires des tanneries, il faut comprendre les eaux d'infusion et les eaux de tannage. Dans les premières, on doit trouver du sel marin à côté de lambeaux de viande et de peau ; en outre, des combinaisons azotées dues à la décomposition des tissus animaux. Dans de semblables eaux, on a trouvé jusqu'à 400 milligrammes d'ammoniaque.

L'*épilage des peaux* s'opère, ou bien par un commencement de putréfaction dans un lait de chaux (pelain), ou à l'aide de chaux d'épuration du gaz (sulfures sodique et calcique), ou bien par l'action du sulfure d'arsenic (orpiment). Nous allons donc trouver ces substances dans les résidus, outre la chaux. Parmi les sulfures des métaux, il faut surtout redouter les sulfures solubles, à cause de leur aptitude à dégager de l'hydrogène sulfuré.

Pour le *tannage des peaux brutes*, on emploie des écorces ou des extraits d'écorces. Les solutions épuisées contiennent naturellement de grandes quantités de matières organiques putrescibles, avec des restes de tannin, en un mot des matières avides d'oxygène.

J. König donne les chiffres suivants relatifs à un lait de chaux épuisé (I) et à une eau de tannage épuisée (II), chiffres qu'il tient de source américaine; d'autre part (III), les chiffres relatifs à une eau résiduaire de tannerie, suivant ses propres recherches (milligrammes par litre) :

	I	II	III
Matières solides totales . . .	3186	8459	3496
Combinaisons organiques . . .	2059	31822	1549
— azotées. . . .	747	452	108 [1]

[1] Ce nombre exprime l'azote. L'eau en question contenait 91 milligrammes de matières organiques en suspension avec 15 milligrammes d'azote, du sulfure sodique et 1 milligramme d'hydrogène sulfuré libre.

Nous devons à K -B. Lehmann les chiffres suivants :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	N° 1 Eau de trempage de peaux fraîches.	N° 2 Infusion d'écorces.	N° 3 Infusion d'écorces épuisée.	N° 4 Trempage à la chaux.	N° 5 Tannage à la vapeur. Cuve à tremper.
Résidu d'évaporation .	4360	4870	3746	14390	14105
Perte à la calcination .	2202	4195	2754	9510	10470
Chaux	—	163	—	2860	1680

Ces eaux résiduaires étaient très riches en bactéries et en champignons. N° 1 avait une réaction neutre et une forte odeur fétide. N° 2 était acide. N° 3 fortement acide, toutes deux sentaient l'écorce. N° 4 était très alcaline ; N° 5 renfermait 520 milligrammes d'arsenic. Les deux dernières sentaient l'ammoniaque.

Lorsque, en outre, les *cuirs doivent être teints*, des restes de colorants accompagnent naturellement les eaux résiduaires. Mais cela constitue plutôt un avantage, en dépit des colorations, car les sels métalliques acides précipitent les albuminates solubles des cuirs et des peaux, et ainsi on peut plus facilement écarter ceux-ci des cours d'eau.

Dans la *chamoiserie*, on enlève aux déchets de peau les graisses employées en excès (dégras) au moyen d'une solution tiède de potasse, afin de récupérer ces graisses (huiles de poisson). Cette opération fournit une eau résiduaire qui, d'après H. Spindler [1], contient jusqu'à 322 milligrammes de matières organiques facilement putrescibles.

[1] *Die Unschädlichmachung der Abwässer in Württemberg*, 1896.

Dans la *fabrication de la colle au moyen de déchets de peau*, on traite ceux-ci par de la chaux. Nous retrouverons donc cette chaux dans les eaux résiduaires à côté de matières azotées solubles putrescibles, ainsi que du butyrate de calcium et d'autres homologues à odeur fétide, de l'acide acétique.

Les *fabriques de colle d'os* préparent leur matière première en attaquant les os par l'acide chlorhydrique; mais auparavant les os sont dégraissés par l'eau bouillante, ce qui donne le « bouillon d'os », souvent acide à cause de l'addition d'acide chlorhydrique. Les phosphates dissous sont traités par la chaux ou par l'acide sulfurique.

Les cours d'eau reçoivent du chlorure calcique, en solution alcaline dans l'un des cas, en solution acide dans l'autre; en outre de la chaux, du gypse et souvent beaucoup de composés azotés. J. König trouva, par exemple, dans l'eau résiduaire d'une fabrique de colle et de farine d'os, 1521 à 2708 milligrammes d'azote par litre, et principalement à l'état d'ammoniaque. On comprend que de pareilles eaux résiduaires doivent offrir de sérieux inconvénients à cause des substances putrescibles qu'elles contiennent. Même épurées, — procédé Nahnsen-Müller, — elles sont encore très mauvaises, ainsi que cela ressort des analyses suivantes de J. König :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Non épurée.	Épurée.
Matières en suspension	379	0
Perte à la calcination	306	0
Avec azote	22	0
Matières solubles	6720	6013
Perte à la calcination	4417	2037
Avec azote total.	73	58

Industries des huiles et graisses. — On retire l'huile des matières premières animales ou végétales, en les pressant

entre des plaques chauffées ou par simple cuisson et distillation. On purifie généralement les graisses brutes par l'acide sulfurique concentré, et l'eau de lavage puante, noire, fortement acide, est rejetée dans les cours d'eau.

On doit, en outre, s'attendre à trouver, à côté de restes d'huile, des matières organiques plus ou moins décomposées, des substances colloïdes putrides, etc.

Les *fabriques de bougies*, et surtout les petites usines, offrent les mêmes inconvénients.

Les *fabriques de savons* rejettent dans les eaux, outre les résidus de graisse, des lessives et des solutions salines, ainsi que de la glycérine et des matières putrescibles. Les petites savonneries tendent à disparaître ; il en résulte que les inconvénients diminuent, les grandes fabriques trouvant leur profit à réaliser les déchets de fabrication.

Le *commerce des pétroles* pourrait être cité ici aussi. On se plaint des inconvénients résultant du transport par fleuve et par canaux dans les bateaux-tanks, ainsi que de la vidange et du nettoyage de ceux-ci.

Industries agricoles. Sucreries. — Si l'on considère l'extension énorme qu'ont prise nos fabriques de sucre; si l'on tient compte de la grande masse d'eau qu'elles emploient et, par conséquent, de la quantité considérable d'eaux résiduaires qu'elles rejettent; si, en outre, on remarque que ces eaux résiduaires renferment une foule de matières putrescibles, on peut dire que l'industrie sucrière, cette source de richesse nationale, est devenue une véritable calamité pour certaines contrées de l'Empire.

Il y a vingt-cinq ans, les grandes fabriques de sucre travaillaient par jour 4 à 5000 quintaux de betteraves, tandis qu'aujourd'hui certaines sucreries opèrent sur plus de 40000 quintaux par jour, et l'on peut compter qu'on emploie jusqu'à 1 mètre cube d'eau par quintal, lorsque la fabrique n'est pas limitée dans sa consommation d'eau. Beaucoup de fabriques doivent se contenter de la moitié de cette quantité d'eau et même moins, et elles sont obligées de faire rentrer

dans leur fabrication des eaux ayant déjà servi une fois, de sorte que les eaux résiduaires qui s'écoulent finalement sont très riches en impuretés de toutes sortes.

D'après les considérations qui précèdent, nous devons nous attendre à voir des eaux résiduaires de concentration très variable.

Si la fabrique a assez d'eau et si elle peut limiter sa consommation d'eau pure en la faisant repasser dans la fabrication, nous pourrons distinguer, quant à la composition :

1. Les eaux de *canalisation* et les eaux du *lavage* des betteraves;

2. Les eaux de *condensation;*

3. Les eaux de *diffusion* (eaux des filtres-presses, de rinçage, ainsi que les eaux de la presse à cossettes);

4. Les eaux d'*osmose.*

Les eaux de canalisation et du lavage des betteraves forment 20 °/₀ de la masse; les eaux de condensation, 60 °/₀; les eaux résiduaires proprement dites, 10 à 20 °/₀.

Lorsque la fabrique est à même d'employer de l'eau pure pour le nettoyage des betteraves (ce qui se fait dans des conduites, au moyen d'un courant d'eau rapide), ainsi que pour le transport des betteraves depuis le magasin ou leur lieu d'arrivée jusqu'à la fabrique, les eaux ayant servi à ce travail peuvent à peine être considérées comme souillées, en supposant qu'elles aient pu abandonner dans de larges bassins de décantation les parcelles de terre et de sable attachées aux betteraves et qui forment parfois jusqu'à 40 °/₀ de leur poids.

Lorsqu'on coupe les parties inutiles de la betterave (tête et queue), la durée de contact avec l'eau est si courte que l'enlèvement du jus sucré sur les surfaces coupées ne doit pas être prise en considération. De même, les eaux de condensation qui n'entraînent que de faibles quantités de jus et de matières volatiles de ces jus, ne sont pas capables de souiller les cours d'eau lorsque les fabriques les laissent se perdre directement. Et pourtant, dans beaucoup de fabriques, les choses ne se passent pas ainsi à cause de la pénurie d'eau. Dans ce cas, les eaux des conduites, après qu'elles ont laissé se déposer les

grosses impuretés, repassent dans la fabrication; il en est de même des eaux de condensation, de sorte que les eaux de ces deux catégories ne se mélangent pas directement aux eaux résiduaires nuisibles proprement dites.

Les eaux résiduaires des *presses à cossettes* et les *eaux d'osmose* ainsi que les dernières eaux mères (ces deux dernières proviennent du travail des mélasses) s'écoulent généralement ensemble. Les premières contiennent des restes de sucre et des dépôts organiques en quantités souvent considérables; les eaux d'osmose renferment, outre un peu de sucre, de grandes quantités de sels potassiques, sodiques, calciques et magnésiques provenant des jus.

Les *dernières eaux de mélasse* sont les plus nuisibles. Dans le procédé assez généralement employé aujourd'hui et qui consiste à enlever aux mélasses les plus pauvres le sucre qu'elles contiennent, en traitant leur solution diluée par de la chaux sèche finement pulvérisée, le résidu, ne renfermant plus de saccharose, mais bien d'autres sucres fermentescibles en assez fortes proportions, ainsi que des bases organiques, de l'ammoniaque, des amides, etc., outre les sels, ce résidu, dis-je, passe dans les eaux résiduaires. Heureusement, depuis quelque temps, on a l'habitude d'évaporer ces eaux; de la sorte elles ne sont plus nuisibles.

Les eaux d'osmose et de séparation sont exemptes de dépôts; cependant il s'y passe des phénomènes de fermentation et de putréfaction qui, à cause du sucre que ces eaux contiennent, déterminent une souillure durable dans les cours d'eau qui les reçoivent.

A côté de ces eaux résiduaires, il faut aussi considérer d'autres déchets de la fabrication du sucre : bouts de racines, rognures de betteraves. Ces déchets ne vont pas à la rivière, mais beaucoup d'usines les abandonnent aux eaux résiduaires par quantités énormes, qu'on peut estimer à plusieurs quintaux, bien que ces déchets constituent directement un aliment excellent pour le bétail, qu'ils se laissent conserver pendant des semaines, avec perte il est vrai, dans des fosses, et bien que nous possédions un procédé de séchage de cossettes, dont

l'installation est peut-être coûteuse, mais qui fonctionne d'une façon irréprochable et presque sans perte. Ces matières de rebut, qu'on pourrait éviter sans trop de peine et de frais, accroissent dans une forte mesure la calamité dont les fabriques de sucre frappent nos cours d'eau.

Les eaux résiduaires des sucreries varient évidemment dans leur composition, suivant l'importance de la fabrique et suivant le mode de fabrication. Ainsi il faut mentionner spécialement les fabriques qui se servent encore de noir animal et qui jettent les eaux acides ayant servi à la revivification de ce noir et les eaux de lavage de celui-ci. Suivant la plus ou moins grande quantité d'eau industrielle dont l'usine pourra disposer, on aura affaire à des eaux résiduaires abondantes mais diluées, ou à des eaux résiduaires peu volumineuses mais concentrées. Le soin apporté au travail, et surtout au travail des eaux résiduaires, joue naturellement un rôle très sérieux; mais l'un n'entraîne pas l'autre. Il y a des fabriques de sucre qui ne travaillent pas leurs dernières mélasses, mais elles les vendent aux distilleries et depuis quelque temps comme aliment pour le bétail! Nous devons nous en féliciter dans l'intérêt de la propreté de nos rivières. La quantité de betteraves mises en œuvre chaque jour ne fournit donc pas une mesure suffisante pour présumer de la composition ou de la nocuité des eaux résiduaires.

Mais il est une autre question qu'on doit se poser avant de porter un jugement sur les eaux résiduaires : Jusqu'à quel point les procédés employés pour les épurer sont-ils efficaces et sont-ils logiquement conçus? Nous reviendrons plus loin sur ce point. Pour le moment, nous devons cependant faire remarquer que, dans beaucoup de cas, les essais d'épuration, au lieu d'améliorer l'état des cours d'eau qui reçoivent ces eaux résiduaires, l'aggravent au contraire, soit qu'une trop forte addition de chaux tue les poissons et autres êtres vivants, soit que les matières déposées, amassées durant toute la campagne dans des bassins de décantation insuffisants, salissent les cours d'eau par suite des phénomènes de fermentation et

de putréfaction dont elles sont le siège[1], tandis qu'au contraire des installations de clarification bien surveillées, avec épandage consécutif, amènent dans les rivières des eaux résiduaires beaucoup plus supportables.

De toutes ces considérations, il ressort qu'il ne peut pas être question d'une eau résiduaire type de la fabrication du sucre, mais qu'on aura affaire, selon les cas, à des eaux de composition *très* différente. Le degré de nocuité de ces eaux varie aussi beaucoup selon l'état de dilution dans lequel peut les amener le cours d'eau qui les reçoit, c'est-à-dire selon la valeur du régime de ce dernier.

Une *eau de lavage des betteraves* contenait, suivant W. Demel, 367 milligrammes de résidu total, dont 304 milligrammes de substances organiques avec 2^{mgr}4 d'ammoniaque et seulement 28 milligrammes de matières dissoutes, dont 16 milligrammes de matières organiques (sucre, etc.).

Les *eaux des presses à cossettes* (eau de diffusion) contiennent environ 5 grammes de matière sèche par litre, dont la moitié est généralement formée de sucre; les eaux résiduaires, par contre, contiennent 50 grammes par litre, dont 5 grammes de sucre de canne, 5 grammes de potasse et soude, 15 grammes de chaux (quantités naturellement très variables) et 20 grammes d'autres substances (sucres de natures diverses, acides organiques, amides, etc., alumine, chlore, acide sulfurique, etc. [2]).

Dans une *eau d'osmose*, W. Demel a trouvé 1558 milligrammes de résidu total avec 1130 milligrammes de matières organiques et 0^{mgr}44 d'ammoniaque; tandis que J. König a trouvé 6927 milligrammes de résidu total avec 1277 milligrammes de matières organiques, et dans celles-ci 560 milligrammes d'azote total. F. Strohmer a trouvé dans une eau semblable 7000 milligrammes environ de résidu, dont

[1] C'est à tel point que, dans des moulins dont le bief est alimenté par des eaux résiduaires de fabriques de sucre, la farine garde l'odeur infecte des acides organiques contenus dans ces eaux et sent même l'hydrogène sulfuré, comme on l'a maintes fois observé.

[2] D'après mes informations et une expertise que j'ai faite.

5590 milligrammes de matières organiques avec 1950 milligrammes de sucre par litre.

W. Demel donne pour une *eau acide de lavage du noir animal :* résidu total 3116 milligrammes, dont 380 milligrammes de matières organiques avec 1mgr8 d'ammoniaque.

Je donne ici les résultats choisis parmi plusieurs analyses de l'ensemble des eaux résiduaires de sucreries. Les grandes différences qu'elles montrent dans leur composition justifient ce qui a été dit plus haut. (Voir le tableau ci-après, page 323.)

Les chiffres de IV montrent combien est faible l'effet d'une simple sédimentation. V nous montre, outre le peu d'efficacité de l'épuration (avec le sulfate d'alumine et la chaux), l'accroissement de la quantité de matières organiques solubles déterminé par l'addition de chaux, et la diminution des matières en suspension, surtout des matières organiques. VI met en lumière l'action de l'épandage d'eaux calcaires clarifiées au préalable par l'alumine et les sels de fer, etc., et en même temps l'effet de l'autoépuration, surtout sous l'influence de l'air et après un long parcours (sans dilution digne d'être signalée).

La dernière eau, à cause de l'insuffisance des surfaces d'épandage, était encore très fortement chargée, bien qu'on eût transformé les prairies d'irrigation, d'abord établies, en champs d'épandage à sillons rugueux.

Les chiffres suivants montrent à quel point les eaux résiduaires d'une sucrerie peuvent charger les cours d'eau. Ils sont fournis par J. König et se rapportent au ruisseau de Soest, qui reçoit les eaux résiduaires, relativement peu sales, de la sucrerie de Soest :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Résidu total.	Perte à la calcination.	Azote.	Chaux.	OBSERVATIONS.
Eau résiduaire. . . .	761	52	15	157	Les données des trois dernières colonnes se rapportent à de l'eau filtrée.
en amont du Soest.	369	40	8	7	
en aval du Soest. .	427	52	11	8	

Eaux résiduaires de sucreries.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	I	II	III	IV*a*	IV*b*	V*a*	V*b*	VI*a*	VI*b*	VI*c*
Matières en suspension	1312	—	67	—	—	191	87	—	—	—
dont matières organiques	350	—	9	—	—	85	19	—	—	—
Résidu total	2737	2633	104	4026	3729	842	775	1822	1075	474
Résidu filtré [1].	1425	—	37	—	—	651	688	—	—	—
dont : Matières organiques	520	483	21	718	504	229	262	903	429	83
Chaux.	—	—	—	169	169	163	159	319	231	149
Ammoniaque.	25	14						8	6	1
Acide nitrique	—	6	1,5	21	18	30	24	Présence.	Trace.	0
Azote organique	24	2						—	—	—

I. D'après J. König, eau résiduaire totale. — II. D'après Teuchert, eau résiduaire totale. — III. D'après W. Demel, eau résiduaire totale, en moyenne. — IV. D'après J. König : *a*) directement de la fabrique ; *b*) après passage aux bassins de décantation. — V. D'après König : *a*) non épurée ; *b*) épurée par le procédé Nahnsen-Müller. — VI. D'après C. Weigelt : *a*) épurée par le procédé Hulwa après passage par les bassins de décantation ; *b*) la même après qu'elle a passé par les champs d'épandage à 60 pas au delà du dernier drain de dégorgement ; *c*) la même prise, à 14 kilomètres plus loin, dans le ruisseau qui l'amène au cours d'eau public.

[1] Lorsqu'il y a un nombre inscrit dans cette ligne, les données qui suivent sont relatives à ce nombre ; dans l'autre cas, elles se rapportent au résidu total.

Les eaux du Soest sont déjà très impures (comme on le voit par les chiffres de la deuxième ligne du tableau), parce qu'elles reçoivent les immondices de la ville de Soest.

Un travail de Fr. Knapp nous montre les quantités énormes d'impuretés produites par les fabriques de sucre de betterave. D'après cet auteur, trois fabriques de sucre envoient chaque jour dans le fossé de la ville de Brunswick environ 1600 kilogrammes de matières organiques, 40 kilogrammes d'azote et 36 kilogrammes de matières inorganiques; en outre, 180 kilogrammes de noir animal. Et pourtant ces chiffres se rapportent à des fabriques relativement peu importantes, car ils datent de 1870, époque à laquelle on n'opérait pas encore sur les quantités colossales mises en œuvre de nos jours.

Bodenbender relate qu'une fabrique travaillant 4000 quintaux par jour — c'est-à-dire une petite fabrique d'aujourd'hui — fournit autant d'eau résiduaire qu'une ville de 20000 habitants (Bodenbender compte seulement $0^{m^3},5$ d'eau par quintal de betteraves) et que dans cette eau résiduaire on a trouvé autant de matières organiques qu'une ville canalisée de 50000 habitants en jetterait à l'égout dans le même temps.

Si nous établissons le calcul sur l'eau résiduaire totale d'après J. König — voir le tableau page 323, I — et si nous admettons qu'il s'agisse d'une fabrique opérant sur 40000 quintaux par jour, en supposant de plus que cette fabrique envoie à la rivière ses eaux résiduaires non épurées, avec 2737 milligrammes de résidu total (une semblable fabrique existait, à notre connaissance, il y a quelques années), alors cela donnerait 54740 kilogrammes ou 1095 quintaux par jour pour un écoulement de $0^{m^3},5$ par quintal de betteraves. Il serait impossible, avec 5 wagons de chemin de fer, de transporter la matière sèche; il manquerait un demi-wagon. Pour une campagne de quatre-vingt-dix jours, il faudrait 492 wagons et 66 quintaux resteraient encore à transporter. Cela donnerait environ 10 trains de marchandises complètement chargés (9.85), de 50 wagons d'une charge de 200 quintaux chacun.

Si, nous fondant sur la même analyse, nous nous occupons

seulement des matières organiques (0gr870 par litre), il nous faudrait encore, pour transporter la masse fournie par une campagne entière, soit 15060 quintaux métriques, 3 trains de marchandises et il resterait 6 wagons et 12 quintaux.

Pour donner une idée de l'énorme quantité de matière organique (combustible) à laquelle on a affaire ici, comparons-la à du bois de sapin. Un stère de ce bois pèse 7.5 à 9 doubles quintaux et renferme 20 °/o d'humidité et des cendres. En regard de nos 15660 quintaux métriques de substance organique sèche, nous pourrions placer au moins 19000 doubles quintaux de bois de sapin tel qu'il se trouve au chantier d'abatage, ou en chiffre rond 2350 stères, lesquels contiendraient la même quantité de matières combustibles que les 15660 quintaux métriques de matière organique.

Cela donne une idée de la matière combustible fournie par une fabrique de sucre qui opère sur 40000 quintaux en une campagne. Ces chiffres sont trop éloquents pour que nous ayons rien à y ajouter.

Les *fabriques de sucre de pomme de terre* qui travaillent les fécules vertes (humides) peuvent nuire par les eaux de lavage de ces fécules et les matières organiques putrescibles y contenues, de même que par les eaux résiduaires de lavage du noir animal, la plupart des usines utilisant encore ce produit pour la décoloration des jus sucrés.

Fabriques d'amidon. — Le résultat est à peu près le même que dans les fabriques de sucre, bien que, par suite de la simplicité plus grande des procédés de fabrication, la variété des eaux résiduaires soit moins grande.

Comme on le sait, on obtient l'amidon en délayant la matière première lavée et réduite (broyée, moulue). Nous envisageons surtout les fabriques de fécule de pomme de terre [1].

La quantité d'eau employée, à peu près égale à celle dont se

[1] Je suis ici l'excellent manuel de O. Saare : *Die Fabrikation der Kartoffelstärke*. Berlin, 1897, Jul. Springer.

servent les fabriques de sucre, est de $0^{m3},5$ à 1 mètre cube par quintal de pommes de terre. Cependant il faut remarquer que les petites fabriques de fécule lavent moins souvent la bouillie de pommes de terre que les grandes fabriques industrielles. Parmi les eaux résiduaires, il faut distinguer :

1° L'eau de lavage des pommes de terre ;

2° L'eau de végétation (jus de pomme de terre dilué) ;

3° L'eau de lavage de l'amidon ;

4° L'eau résiduaire de la fosse à pulpes et de la presse à pulpes ;

5° Les eaux résiduaires du travail de l'amidon.

Nous ne pouvons pas dire que des impuretés réelles proviennent du *lavage des pommes de terre;* il y en a moins encore que dans le travail correspondant des betteraves, car les pommes de terre n'offrent pas de surfaces de section comme ces dernières. Ce n'est que si on opérait sur des pommes de terre gâtées qu'on pourrait avoir cet inconvénient. Grâce à la surface polie et à la forme arrondie des tubercules, grâce à l'absence des radicelles, la quantité de parcelles terreuses, entraînées par le lavage, est moindre que pour les betteraves et ne forme que 20 °/₀ au maximum du poids des pommes de terre. En général, elle dépasse rarement 5 à 6 °/₀. L'introduction des eaux de lavage de tubercules sains dans les cours d'eau publics doit être considérée comme tout à fait inoffensive. Les petits tubercules et les morceaux qui passent à travers le tamis, les germes et les brins de paille provenant des meules peuvent être facilement retenus par un treillis disposé à cet effet.

Dans l'*eau de végétation*, nous devons rechercher les substances solubles. 100 kilogrammes de pommes de terre contiennent :

	I	II
	kgr	kgr
Matières minérales	0,74	0,92
Sucre.	1,90	2,37
Matières gommeuses, acides, etc. .	0,93	1,16
Albumine soluble	0,70	0,88
Composés amidés	0,70	0,88
Total	4,97	6,21

Dans 1 mètre cube de jus, en supposant qu'un quintal de pommes de terre donne 800 litres de jus, nous trouverons donc 6kgr21 avec 256 et 320 grammes d'azote.

Dans la pratique, ces chiffres sont naturellement beaucoup moins élevés. On a 1kgr8 à 5kgr6 par mètre cube, soit 2 à 6 °/₀₀.

L'eau de végétation est d'abord rouge; elle devient plus ou moins noirâtre dans la suite, à cause des tannins de la pomme de terre.

L'*eau de lavage de l'amidon* doit simplement être regardée comme une eau de végétation fortement diluée, et il en est de même pour les *eaux résiduaires de la fossé à pulpes et de la presse à pulpes*, étant donnée la faible quantité de ces eaux : 5 à 6 mètres cubes par 100 quintaux de pommes de terre. La majeure partie de ces eaux s'infiltre, et ce qui s'écoule de la presse à pulpes est remis en œuvre pour l'extraction de l'amidon. Nous ne devons donc nous occuper que de l'eau de végétation et de ses dilutions, et ensuite des *eaux résiduaires du travail de l'amidon*.

Ces dernières donnent par litre :

Matière sèche	1gr,04
dont matières minérales. . .	0gr,33

En outre, des traces de composés azotés et d'acides organiques. Malgré leur faible concentration, ces eaux sont souvent très désagréables, car elles empestent la région environnante. Leur mélange aux cours d'eau publics produit des effets répugnants, mais pour les poissons ces eaux sont beaucoup moins nuisibles que les jus de pomme de terre.

Ces eaux résiduaires du travail de l'amidon sont d'excellents foyers de fermentation et de putréfaction, grâce à l'azote qu'elles contiennent. Leur teneur élevée en matières albuminoïdes détermine la formation d'hydrogène sulfuré; et nous devons prendre aussi en considération le tort que les matières putrescibles causent aux poissons en même temps que leur affinité pour l'oxygène.

D'après mes propres constatations, il semble que les eaux

résiduaires de la fabrication de l'amidon, malgré leur faible concentration, si on les compare aux eaux résiduaires des sucreries, sont plus susceptibles que ces dernières de former de l'hydrogène sulfuré dans certaines conditions locales déterminées [1]. Malheureusement, la façon dont les fabriques d'amidon retiennent les débris de la pulpe laisse également beaucoup à désirer. En cela pèchent surtout les grandes fabriques industrielles qui n'arrivent pas à écouler complètement la pulpe comme aliment pour le bétail. M. Maercker et M. C. de Leeves ont trouvé les valeurs suivantes pour les eaux résiduaires de la fabrique d'amidon de Hohenziatz :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eau résiduaire totale.	Après dilution et clarification.	Après irrigation [2].
Matière sèche	1858	323	162
Matières organiques	1134	102	79
dont : Azote total . . .	141	12	9
Ammoniaque . . .	37	0	0
Acide nitrique . . .	4	Trace.	Trace.
Acide phosphorique	57	5	Trace.

Les *fabriques de fécule de froment et de maïs* font gonfler les matières premières avant de les réduire en morceaux par concassage et mouture. Ces fabriques rejettent donc ces eaux de macération, qui, contenant des matières organiques solubles, se putréfient facilement.

Dans la *fabrication de l'amidon de riz*, il faut tenir compte du principe de la préparation. On fait gonfler le riz dans une lessive de soude pour dissoudre le gluten. Celui-ci est précipité

[1] B. PROSKAUER m'a dit avoir fait la même observation.

[2] L'eau avait coulé successivement sur deux prairies (de 2 hectares). Après le passage sur la première, elle ne contenait plus que 38 milligrammes de matières organiques avec 4 milligrammes d'azote.

par l'acide chlorhydrique. Il y aura donc formation de chlorure de sodium, qui accompagnera les matières fermentescibles.

Les *eaux de lavage de l'amidon*, qui sont assez analogues aux jus dilués des fabriques de fécule de pomme de terre, contiennent moins de matières que ceux-ci, relativement à la matière première. Le gluten lavé est retenu, ou bien il passe également en solution, comme c'est le cas, par exemple, dans le procédé à l'acide; l'amidon est enlevé avec l'eau de lavage. Ce sont surtout les eaux acides des fabriques d'amidon de froment travaillant par le procédé acide qui sont dangereuses.

J. König a trouvé pour les eaux résiduaires de fabriques d'amidon de froment et de riz :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Fabrique d'amidon de froment.				Fabrique d'amidon de riz.
	Eau de trempe.	Eau acide.	Eau de gluten.	Eau résiduaire totale.	Eau résiduaire totale.
Matières organiques en suspension	57	2580	6118	505	118
dont azote.	2	49	65	5	10
Matières organiques dissoutes . .	265	19537	3420	3623	770
dont azote.	15	2108	431	737	56
Matières minérales solubles . . .	286	2615	637	1682	1583
Acide phosphorique	8	641	241	465	28

Les eaux résiduaires de la fabrication de l'amidon de froment sont plus ou moins laiteuses et acides. Sauf les eaux de trempe, qui sont inodores, ces eaux ont une odeur acide et souvent aussi fétide.

Eaux résiduaires des distilleries. — Elles sont beaucoup moins nuisibles parce que les quantités rejetées sont beaucoup moins fortes que dans les autres industries agricoles dont nous nous sommes occupés jusqu'ici. Ajoutons que les distilleries d'alcool de pomme de terre fournissent plus d'eau résiduaire que les distilleries d'alcool de grain ou de mélasse.

Dans le procédé suivi par nos distilleries modernes, les pommes de terre, après lavage, sont cuites à la vapeur, dans le but d'agglomérer les grains d'amidon. L'eau de végétation qui s'écoule de la pomme de terre est soufflée hors du cuiseur de Henze. Elle constitue, comme dans la fabrication de l'amidon, l'eau résiduaire la plus nuisible de nos distilleries; cependant, d'après les recherches de M. Maercker, elle ne comporte que 6 à 7 litres par quintal de pommes de terre ou, pour 1000 litres de macération (en moyenne 17,5 quintaux de pommes de terre), 100 à 125 litres. Elle renferme du sucre, de la gomme et d'autres produits, tels que la solanine des pelures de pommes de terre. Cette dernière est vénéneuse, d'un goût irritant et pourrit rapidement.

Il faut encore mentionner l'eau de mouillage (macération de l'orge en vue de la préparation de la diastase dans le malt, nécessaire à la transformation de l'amidon en sucre) et l'eau de nettoyage dans des proportions de 350 à 450 litres, ainsi que l'eau de lavage des pommes de terre, laquelle est peu nuisible (2000 à 2500 litres pour 1000 litres de produits en macération), soit en tout 2500 à 3000 litres pour 1000 litres de produits en macération.

Les distilleries agricoles, qui, en Allemagne, dépassent les grandes distilleries industrielles autant par le nombre que par la quantité de matières premières mises en œuvre, peuvent être divisées en :

GENRES DE DISTILLERIES.	Travail journalier		Eau résiduaire par jour.
	en eau de mouillage.	en quintaux de pommes de terre.	Mètres cubes.
Petites distilleries	2500	45	6,25 - 7,50
Distilleries moyennes	6000	105	15,00 - 18,00
Grandes distilleries.	10000	175	25,00 - 30,00

Les distilleries industrielles qui opèrent journellement sur 40000 litres de trempe et plus, jettent relativement peu d'eaux résiduaires, parce qu'elles travaillent le maïs. Les plus grandes d'entre elles ne donnent pas plus de 125 mètres cubes par jour et les distilleries d'alcool de grains et les fabriques de levure sèche 2,5 à 3 mètres cubes par 1000 litres de trempe.

L'*eau de végétation* contient, d'après M. Maercker, 0gr38 à 1gr5 en moyenne, soit 0,75 °/₀ de matière sèche ou 7gr5 par litre; l'*eau de lavage des pommes de terre,* 0gr5 de matière sèche par litre, dont 0gr35 sont de nature minérale et 0gr15 de nature organique.

Dans l'*eau de levain* d'une distillerie d'eau-de-vie, J. König a trouvé par mètre cube 7700 grammes de matière sèche, dont 6900 grammes de matière organique et 800 grammes de matière minérale. La composition de l'eau de levain et de l'eau de végétation, très analogue à celle de l'eau de nettoyage quant aux matières solides, est donc semblable à celle de l'eau clarifiée du lavage des pommes de terre, et d'une teneur quinze fois plus grande.

Donc, on trouvera dans les eaux résiduaires des distilleries de pommes de terre, en matières solides, par 1000 litres de trempe :

Dans l'eau de lavage des pommes de terre.	1000 - 1250	grammes.
— de mouillage et de délayage .	2695 - 3465	—
— de végétation	750 - 937	—
Total	4445 - 5652	—

soit, par mètre cube d'eau résiduaire, environ 1kgr8 de matière solide. O. Saare donne 1kgr8 à 5kgr6 de résidu sec par mètre cube pour les eaux résiduaires des fabriques de fécule de pomme de terre. L'eau résiduaire des distilleries, quant à sa teneur en matières sèches, se rapproche de celles de certaines fabriques d'amidon qui se distinguent par des eaux résiduaires relativement peu sales.

Nous devons à J. König les essais suivants, faits sur les eaux résiduaires totales de fabriques d'alcool de pomme de terre et d'une distillerie d'eau-de-vie :

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	I	II	IIa	III
Résidu total	691	6873	1290	6054
dont : Matière organique.	338	4723	645	5421
Azote	21	2576	36	274

I. Eau résiduaire d'une distillerie et fabrique de levure.

II et II*a*. Eau résiduaire d'une autre distillerie d'alcool de pomme de terre. — II. Moyenne sur huit échantillons. — II*a*. Moyenne sur cinq échantillons, après simple repos dans des bassins de clarification. Le dosage d'azote de II*a* ne se rapporte qu'aux composés azotés solubles. Les matières organiques dissoutes étaient ici de 421 milligrammes par litre.

III. Eau de levain d'une distillerie d'eau-de-vie de grains. — Moyenne de quatre analyses.

Comme nous l'apprennent les analyses I et II, nous avons affaire à des eaux résiduaires très différentes dans les diverses fabriques. Même les résultats de II offrent de grands écarts, par exemple pour les matières organiques; ils vont de 1261 à 9481, pour l'azote de 78 à 530 milligrammes par litre.

On verra par les chiffres suivants que de grandes distilleries peuvent causer des torts sérieux à un ruisseau lorsque toutes leurs eaux s'y écoulent. Ces chiffres sont dus à König et se rapportent à une distillerie sur l'Uffel (voir le tableau ci-après, page 333).

Ces chiffres nous montrent l'influence qu'exerce l'eau résiduaire de la distillerie sur le ruisseau. Ils nous montrent aussi combien l'irrigation fait diminuer la quantité d'impuretés : *a*) indique la composition de l'eau irriguée, prise à la surface du sol; *b*) celle de l'eau prise dans le drain du champ d'irrigation.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eau résiduaire de la fabrique.	Eau de l'Uffel			
		en amont.	en aval.	après irrigation.	
				a	b
Matières en suspension . . .	476	0	67	9	6
dont organiques	252	0	34	4	Trace.
Résidu sec, soluble.	814	351	390	406	491
dont : Matières organiques .	393	59	89	44	40
Azote.	36	4	10	5	3
Acide phosphorique .	17	0	3	1	Trace.

Brasseries. — Comparées aux eaux résiduaires des sucreries et des fabriques d'amidon, celles des brasseries sont beaucoup moins dangereuses; car ici il n'est pas question, à proprement parler, d'eaux résultant directement de la fabrication; pour la même raison, leur masse est aussi beaucoup plus faible que celle des précédentes.

Outre les eaux de mouillage de l'orge, il n'y a à considérer que les eaux de rinçage et de nettoyage de la cuve à fermentation et des tonneaux de chantier ainsi que les tonneaux renvoyés par la clientèle.

On ne trouve pas dans la littérature des renseignements désirables sur les quantités relatives de chaque eau résiduaire.

Quant à la composition des eaux résiduaires, J. König nous apprend, d'après Alex. Müller (1) et d'après ses propres recherches (2, 3, 4 et 5), que :

UN LITRE RENFERME :	1	2	3	4	5
	Eau de mouillage de l'orge.	Eau de lavage.	Eau de rinçage.	Ensemble [1].	
	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.
Résidu total d'évaporation . .	2200	2535	1847	1667	5360
Résidu de calcination.	1392	1355	833	960	1408
dont : Potasse	439	79	66	—	109
Chaux.	200	421	258	—	—
Acide phosphorique. .	43	20	20	14	117
Acide sulfurique . . .	199	110	78	—	145
Perte à la calcination. . . .	808	1180	1014	707	3952
dont : Azote organique (1) .	13	19	33	58	185
Azote ammoniacal (2).	—	21	—		

Voir, en outre, dans le tableau ci-après (page 335) encore quelques analyses d'eaux résiduaires épurées.

Les analyses de l'eau épurée par la chaux ont été faites par Fr. Schwackhöfer [2]. L'épuration est peu satisfaisante, comme le dit l'auteur lui-même.

Les autres analyses sont de J. König et sont très favorables au procédé Nahnsen-Müller, mais très défavorables au procédé Röckner-Rothe. Ce qui est étonnant, c'est que l'action filtrante de ce dernier n'ait pas été suffisante, contrairement à ce qui arrive presque toujours. König lui-même n'ose pas considérer ces chiffres comme concluants pour juger le procédé d'épuration, et fait remarquer, à propos de l'eau de Brunswick, la

[1] Formé de (4) 497 milligrammes de matières en suspension, dont 362 de matière organique avec 43 milligrammes d'azote, et (5) respectivement 1073-490-41 milligrammes. Les valeurs pour l'acide phosphorique, l'acide sulfurique et la potasse se rapportent à de l'eau filtrée.

[2] *Mitteilungen der Oesterr. Versuchs-Station für Brauerei und Mälzerei.* Vienne, 1889, II, 62.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eaux résiduaires épurées de brasseries							
	traitées par la chaux.		d'après NAHNSEN-MÖLLER.		d'après RÖCKNER-ROTHE.			
			Schönebeck S./E.		Brunswick.		Dortmund.	
	Non épurées.	Épurées.	Non épurées.	Épurées.	Non épurées.	Épurées.	Non épurées.	Épurées.
Matières en suspension	979	256	497	25	196	Trace.	64	—
dont : Organiques	783	190	362	12	173	Trace.	Trace.	—
Azote	—	—	43	Trace.	7	0	0	—
Matières dissoutes	2071	2415	1170	1507	571	2788	1917	—
dont : Organiques	1444	1716	345	552	240	512	—	—
Azote	24 [1]	21	14	24	15	13	6	—
Potasse	—	—	100	92	27	23	—	—
Chaux	242	195 [2]	155	175	128	838	512	—
Acide phosphorique	41	0	14	Trace.	9	3	—	—
Hydrogène sulfuré	—	—	—	—	3	0	6	—

[1] 20 milligrammes d'acide nitreux.
[2] En outre, 111 milligrammes de chaux libre.

différence de composition qui permet de douter si les deux échantillons sont bien comparables entre eux, c'est-à-dire si les chiffres pour l'eau épurée et non épurée se rapportent bien à une eau de même origine.

On comprend, d'après les analyses précédentes, que de pareilles eaux résiduaires doivent être très putrescibles, si on remarque qu'on y trouve des levures, qui se décomposent rapidement, une fois épuisées, à cause de leur richesse en albumine ; en outre, du sucre, des matières gommeuses et d'autres produits organiques décomposables. Nous ne devons donc pas nous étonner de la puanteur de ces eaux. Elles contiennent en même temps, en grandes quantités, des sels nutritifs pour les bactéries, jusqu'à 43 milligrammes d'acide phosphorique, par exemple. On y trouve presque toujours de l'acide acétique libre — par oxydation de l'alcool — ainsi que les acides lactique et butyrique. Il est évident que ces eaux résiduaires consomment de l'oxygène et qu'en outre, par suite de la décomposition de l'albumine des levures, elles introduisent dans les cours d'eau de l'hydrogène sulfuré et des sulfures et favorisent la végétation d'algues filamenteuses blanches, spécialement du *Leptomitus lacteus*.

Le ruisseau Sunderholz, qui reçoit les eaux résiduaires de plus de quarante brasseries de Dortmund, avait, d'après Alex. Müller, la composition suivante avant (**1**) et après (**2**) la réception des eaux résiduaires.

J. König a trouvé comme matières dissoutes de ces mêmes eaux dans les années 1883-1884 (moyenne de trois analyses) les chiffres consignés dans la colonne **3**.

LE SUNDERHOLZ CONTENAIT (en milligrammes par litre) :	Avant la réception des eaux résiduaires.	Après la réception des eaux résiduaires.	
	1	2	3[1]
Résidu total	1095,0	1711,0	1424,0
Résidu à la calcination	962,0	1271,0	991,0
Perte à la calcination	133,0	440,0	433,0
Azote organique	2,0	8,0	3,0
— ammoniacal	3,0	5,0	5,9
Hydrogène sulfuré	—	—	9,4

LAITERIES, FROMAGERIES. — Tant qu'on travaillait dans les fermes mêmes le lait qu'elles produisaient, il ne pouvait pas être question, même pour les plus grandes fermes, d'eaux résiduaires au sens où nous l'entendons. Le fermier économe, regardant, avait soin de faire servir autant que possible les eaux de lavage à la nourriture des porcs, etc.

Depuis que la laiterie se fait sur une grande échelle dans les sociétés coopératives, la valeur productive du lait — les frais accessoires diminuant — a augmenté; mais, d'autre part, l'utilisation des sous-produits de peu de valeur est rendue beaucoup plus difficile, sinon impossible, à cause des distances parfois très grandes entre la laiterie et le lieu de production de la matière première; il en résulte une eau résiduaire qui devient parfois très nuisible pour les cours d'eau qui la reçoivent.

Le lait de vache renferme par litre :

Caséine	32 grammes	avec 6 grammes d'azote.
Albumine	5 —	
Graisse	36 —	
Sucre de lait	48 —	
Sels minéraux	7 —	

[1] Dans un cas, 110 milligrammes de matières organiques avec 13mgr5 d'azote sous forme de matières en suspension.

Nous trouvons ces substances à l'état plus ou moins dilué dans les eaux résiduaires de laiterie, concurremment avec les matières provenant du nettoyage des appareils et des récipients.

Ces eaux résiduaires, pourtant mélangées, peuvent se distinguer suivant qu'elles viennent de la salle de livraison, de la salle du séparateur ou de la fromagerie. Les chiffres suivants, empruntés à J. König [1], rendent compte de ces différences et nous renseignent en même temps sur la composition des eaux mélangées dans le canal collecteur. Ces eaux proviennent toutes de la même laiterie.

UN LITRE RENFERME EN MILLIGRAMMES :	Salle de livraison.	Salle du séparateur.	Fromagerie.	Canal collecteur.
Matières en suspension . .	4020	7884	—	—
dont organiques	2681	7534	—	—
Résidu total.	6462	10415	17413	3680
Perte à la calcination . . .	4400	8456	14622	2733
dont : Azote	232	100	510	118
Lactose	56	353	10052	316
Graisse (surtout huile de graissage).	—	5665	—	—

D'après les analyses ci-dessus, on comprend que de pareilles eaux, grâce à la facilité avec laquelle se décomposent leurs matières organiques, ont une odeur très désagréable et consomment avidement l'oxygène de l'eau, surtout si on considère que pendant la décomposition des matières albuminoïdes (caséine et albumine, voir les chiffres indiqués ci-dessus pour le lait), de l'hydrogène sulfuré est mis en liberté. Il est évident que les quantités absolues et relatives de ces eaux résiduaires varieront suivant les soins de la fabrication, suivant son importance et suivant la puissance des appareils.

[1] *Die landw. Versuchs-Station i. Münster i. W. während der ersten 25 Jahre. Eine Denkschrift,* 1896, p. 188.

Industries modernes de l'alimentation. — *Fabriques de margarine, fabriques de conserves de viande et de poisson, conserves de légumes, extraits, aliments brevetés.* — D'une façon générale, nous devons nous attendre ici à des eaux résiduaires qui se rapprocheront, par leur composition chimique, d'une part des eaux provenant de l'industrie des graisses animales, des fabriques de colle et d'autres analogues, d'autre part des eaux de distillerie. Dans tous les cas, nous y trouverons une foule de matières organiques facilement décomposables, matières albuminoïdes, graisses, hydrates de carbone, entraînant tous les inconvénients que des eaux aussi complexes peuvent offrir pour les cours d'eau. Lorsqu'il s'agit d'aliments brevetés, comme le tropon et d'autres, nous devons suivre les indications des journaux de brevets, pour pouvoir préserver, le cas échéant, nos cours d'eau contre des influences particulièrement néfastes.

Certaines de ces industries opèrent sur des quantités énormes de matières premières. Il en est ainsi des fabriques de margarine, parmi lesquelles les grandes installations de Van den Bergh (Rotterdam et Bruxelles), qui fabriquent le Vitello (margarine ayant la propriété de brunir lorsqu'on la chauffe et obtenue par addition de crème et de jaune d'œuf) et la Sana (margarine au lait d'amandes); il en est de même de nos fabriques de conserves pour l'armée, des fabriques de conserves de légumes (asperges) de Brunswick et de Thuringe.

A côté du tropon, il faudrait ranger l'hématogène, le sanatogène, le plasmon, la somatose et d'autres « aliments », en remontant jusqu'à l'ancienne Revalenta arabica. Ces produits, qui sont dus aux progrès de la physiologie de la nutrition et dont on ne peut nier l'utilité dans certains cas, font l'objet d'une très grande consommation. Il ne faut pourtant pas toujours attribuer le succès qu'ils obtiennent auprès du public aux services qu'ils lui rendent effectivement. L'humanité énervée d'aujourd'hui est portée à acquérir, à grands frais, des médicaments, des aliments qu'un mode de vie bien organisé rendraient superflus et dont une ménagère habile trouverait au

marché l'équivalent pour quelques centimes. Cela est pénible et le médecin est trop faible devant les plaintes et les caprices de ses malades.

Nous savons très peu de chose concernant les eaux résiduaires de ces industries modernes. On peut croire que les fabricants de produits albuminoïdes sont obligés d'éliminer par peptonisation les matières gélatineuses qui physiologiquement n'ont aucune valeur nutritive, et que, par conséquent, nous retrouverons ces matières putrescibles, à côté d'autres, dans les eaux résiduaires.

Une recherche de E. Haselhoff nous renseigne seulement sur les eaux résiduaires d'une fabrique de margarine. Les chiffres de la première colonne se rapportent à des eaux non diluées, tandis que nous rangeons dans la deuxième colonne la moyenne de deux analyses concordantes. J. König [1] renseigne ces eaux comme étant fortement diluées par l'eau de condensation.

	I	II
Matières en suspension	332	82
dont organiques	275	41
Résidu sec total	7,200	399
dont matière organique	875	164
avec azote total	118	9

Ces eaux résiduaires contiennent des quantités considérables d'azote et une foule de substances organiques, qui sont le siège de fermentation et de putréfaction. On n'a pas de renseignements sur leur teneur en corps gras.

NETTOIEMENT DES VILLES. — Divers facteurs exercent leur influence sur la nature des résidus d'une ville. Les habitudes de ses habitants, en y comprenant bien entendu l'activité industrielle, sont ici de toute première importance. Il est évident que tel endroit où l'on s'occupera spécialement d'agriculture différera d'une ville industrielle; d'autre part, on sait

[1] J. KÖNIG, *Verunreinigung der Gewässer*, II. Auflage, 1899, Bd II, S. 190.

que beaucoup de villes, sans qu'on puisse toujours s'expliquer pourquoi, se distinguent par telle ou telle industrie. Il en résulte que l'ensemble des détritus d'une agglomération humaine est influencé par la nature particulière des eaux résiduaires propres à telle ou telle industrie locale. En outre, les détritus varient selon que l'on brûle, pour le chauffage, du charbon de bois, de la tourbe, du lignite ou de la houille, et selon la nature du pavage que l'on emploie dans la localité.

Ce que nous venons de dire explique pourquoi la quantité des résidus doit varier avec les villes. Elle varie aussi avec les saisons. Nous faisons allusion, entre autres, à l'accroissement de la quantité de cendres dû à la nécessité de se chauffer en hiver; d'autre part, à l'accroissement des déchets résultant, en été, d'une plus grande consommation de légumes.

R. Blasius [1] évalue la somme des résidus d'une grande ville comme Brunswick, qui comprend 100 000 habitants, à environ 80 millions de kilogrammes par an, répartis comme suit :

Excréments humains solides et liquides.	36,500,000	kilogr.
Excréments solides et liquides d'animaux domestiques	12,000,000	—
Balayures des habitations et des rues et résidus industriels solides	40,556,000	—

Les matières solides, liquides ou en suspension contenues dans les eaux ménagères et de cuisine ne sont pas comprises dans ces chiffres. En les comptant, on arrive à plus de 90 000 000 de kilogrammes.

Le nettoyage bien organisé d'une ville comprend donc l'enlèvement :

1. *Des déjections humaines;*
2. *Des excréments des animaux domestiques;*
3. *Des eaux de lavage des rues, des maisons et des usines;*
4. *Des balayures des rues et des déchets des marchés;*

[1] Th. Weyl, *Handbuch der Hygiene*. Iéna, 1897, darin R. Blasius, *Stadtereinigung*, S. 29.

5. *Des balayures des maisons et d'autres déchets, y compris ceux de l'industrie;*

6. *Des cendres.*

Les cours d'eau peuvent avoir à souffrir plus ou moins de toutes ces immondices, quand on n'observe pas les règles que devraient prescrire l'hygiène et la surveillance de nos rivières.

Les déjections humaines occupent le premier rang parmi les détritus urbains, et la nécessité de les écarter se fait de plus en plus impérieusement sentir au fur et à mesure que les villes s'agrandissent.

On ne peut pas prétendre que la totalité des excréments humains soit déversée dans les cours d'eau, même quand les circonstances s'y prêtent le mieux; mais on peut dire qu'il en est ainsi pour une grande partie de ces produits, malgré les meilleures mesures prises pour empêcher la chose. Wolf et Lehmann ont établi une moyenne par tête suivant l'âge, le sexe, la santé et les dispositions des individus, et en tenant compte de la qualité des aliments animaux et végétaux, selon l'aisance et les habitudes de chacun :

SEXE.	EXCRÉMENTS solides		DÉJECTIONS liquides		ENSEMBLE	
	par jour. Grammes.	par an. Kilogr.	par jour. Grammes.	par an. Kilogr.	par jour. Grammes.	par an. Kilogr.
Homme	150	54.7	1500	547 5	1650	602.2
Femme	45	16 4	1350	492.7	1395	509.1
Garçon	110	40.1	570	208.0	680	248 1
Fille	25	9.1	450	164 2	475	173 3

Wolf et Lehmann répartissent la population d'une ville de 10 000 habitants en 3761 hommes, 3463 femmes, 1406 garçons et 1370 filles [1].

[1] Ces chiffres n'ont pas une valeur générale, si on s'en rapporte à la statistique établissant la supériorité numérique du sexe féminin.

Une semblable population donnerait donc par an :

SEXE.	EXCRÉMENTS solides. Kilogrammes.	EXCRÉMENTS liquides. Kilogrammes.	ENSEMBLE. Kilogrammes.
Hommes	205700	2059000	2264800
Femmes	56800	1706100	1763000
Garçons.	56400	292200	348800
Filles.	12400	225400	237400
	331300	4282700	4614000

c'est-à-dire en moyenne par tête et par an 33^{kgr}1 d'excréments solides et 428^{kgr}3 d'excréments liquides, soit au total 461^{kgr}4 ou 1270 grammes par jour.

M. von Pettenkofer et A. Gärtner qui est à peu près d'accord avec lui, admettent comme moyenne des déjections par an 34 kilogrammes de fèces et 428 kilogrammes d'urine, soit ensemble 462 kilogrammes, tandis que E. Wolff les évalue respectivement à 48^{kgr}5 et 422 kilogrammes. J.-H. Vogel [1], l'auteur le plus récent qui se soit occupé de la question, se basant sur les renseignements bibliographiques, qui sont très nombreux, indique le rapport 45^{gr}5 : 438, soit 1333 grammes de déjections totales par jour.

De même que les moyennes établies par les savants, concernant les quantités, diffèrent entre elles, de même on n'est pas d'accord sur la composition chimique moyenne de ces produits.

E. Wolff donne pour la composition chimique les chiffres suivants :

[1] *Die Verwertung der menschlichen Abfalstoffe.* Berlin, 1896. (*Arbeiten der deutschen Lanwirtschaftsgesellschaft,* Heft 11.)

UN KILOGRAMME CONTIENT :	EXCRÉMENTS solides. Grammes.	URINE. Grammes.	MÉLANGE. Grammes.
Eau.	772.0	963.0	935.0
Matière sèche	228.0	37.0	65.0
Matière organique	198.0	24 0	51.0
Azote	10.0	6.0	7.0
Acide phosphorique	10.9	1.7	2.6
Potasse	2.5	2.0	2.1
Soude	1.6	4.6	3.8
Chaux	6.2	0.2	0.9
Magnésie	3.6	0.2	0.6
Acide sulfurique	0.8	0.4	0.5
Chlore et fluor.	0.4	5.0	4.0
Silice et sable	1.9	—	0.2

Heiden et Müller, par contre, donnent comme exacte la composition suivante (48.5 : 438) des déjections :

UN KILOGRAMME CONTIENT :	FÈCES. Grammes.	URINE. Grammes.	ENSEMBLE. Grammes.
Eau.	772.0	94.7	937.0
Matière sèche	228.0	52.5	63.0
Matière organique	194.0	42.0	49.0
Azote	16.0	10.0	8.5
Acide phosphorique	12.3	1.5	2.6
Potasse	5.5	1.8	2.1

Il ne faudrait cependant pas croire que, même dans des conditions défavorables (système d'égouts sans épuration), les quantités mentionnées plus haut puissent effectivement arriver

dans les cours d'eau. Une partie très considérable n'y arrive pas, comme l'ont prouvé les résultats des divers systèmes que l'on a employés pour rassembler les déjections.

E. Heiden et Alex. Müller estiment la quantité *recueillie* par jour à 1^{kgr}2-1^{kgr}4, tandis que J.-H. Vogel croit qu'il se perd la sixième partie des fèces et la moitié de l'urine, ce qui fait que la quantité de déjections *recueillies*, celle qui arrive en certains endroits déterminés pour s'y éliminer, n'est que de 710 grammes par jour, ou de 260 kilogrammes par tête et par an. Pour les petites villes, il évalue ces pertes à 70 °/₀, tandis que par le système des égouts canalisés, elles ne s'élèvent qu'à 25 °/₀.

On peut parler de « pertes » quand on se place au point de vue des intérêts de l'agriculture; mais au point de vue où nous nous plaçons, nous devons admettre que ces quantités soi-disant perdues passent dans nos cours d'eau, soit directement, soit avec les eaux.

Nous n'avons naturellement pas à nous occuper des déjections « recueillies », attendu que, dans l'intérêt de la propreté de nos villes, ces déjections sont enlevées pour servir d'engrais, de sorte qu'elles n'interviennent pas comme facteurs de la pollution de nos cours d'eau. Par suite d'un manque de soins, une averse peut faire déborder les fosses collectrices. Il n'est donc pas superflu de se renseigner sur la composition de leur contenu. Il est même de notre intérêt de connaître le contenu des tonneaux et des cuves de vidange, car nous pouvons avoir affaire aux eaux de rinçage de ces appareils.

Je citerai quelques analyses :

Contenu de fosses d'aisances et de fosses collectrices.

1 KILOGRAMME contient en grammes :	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Matière sèche	40.1	38.1	26.2	21.6	11.4	9.9	86.7	31.7	35.5
Matière organique	22.8	30.3	15.1	—	—	—	62.1	21.1	27.6
Azote total	4.1	3.5	4.3	1.5	0.9	2.8	4.4	2.7	3.7
Azote ammoniacal	—	—	—	1.1	0.8	2.2	—	—	1.1
Cendres.	17.3	7.8	11.1	—	—	—	13.9	11.6	13.9
Acide phosphorique	1.9	6.0	1.9	0.7	0.3	0.4	3.6	0.5	1.6
Potasse.	1.4	1.9	2.0	1.8	1.0	1.3	1.7	2.2	1.6

1 et 2. Contenu de grandes fosses d'aisances de Karlsruhe. — 3. Fosse de Stuttgart. — 4 et 5. Fosse de Mayence. — 6. Fosse de Düsseldorf. — 1 à 6. Les déjections sont mélangées. — 7 à 8. Contenu de la fosse collectrice de Dresde à Klotsche. — 7. Dépôt épais. — 8. Liquide surnageant. — 9. Moyenne de vingt-deux analyses, publiées par J.-H. Vogel et parmi lesquelles les analyses précédentes ont été choisies.

Contenu de tonneaux et de cuves de vidange.

1 KILOGRAMME contient en grammes :	1	2	3	4	5	6	7
Matière sèche	58.5	71 0	73.1	55.1	118 7	87.1	76.9
Matière organique	42.8	53.1	—	—	92.4	66.6	55.4
Azote total	5.6	6.0	6.2	7.4	11.3	8.1	7.5
Azote ammoniacal	—	—	—	3.8	5.2	2.7	4.3
Cendres	15.8	14.6	—	—	2.6	2.0	1.8
Acide phosphorique	2.5	2.3	2.0	—	3.9	3.0	2.7
Potasse	1.9	2.0	—	—	3.5	2.9	2.8

1. Contenu d'un tonneau de vidange d'Augsbourg. — 2. Idem de Gorlitz. — 3. Rostock (moyenne de deux cuves de vidange). — 4. Cuve de Berlin (moyenne de quatre analyses et de quatre amas de déjections différentes d'une famille de cinq personnes). — 5. Moyenne de deux tonneaux d'une caserne à Halle. — 6. Moyenne sur six seaux de la maison de correction à Halle. — 7. Moyenne de dix-neuf analyses publiées par J.-H. Vogel et dans lesquelles j'ai choisi celles qui précèdent.

Les tonneaux de vidange contenaient des matières fécales et de l'urine; une partie de l'urine a naturellement été perdue. C'est surtout à cette circonstance qu'il faut attribuer les écarts appréciables que présentent ces analyses. Les déjections étaient récentes, sauf celles du n° 1.

Dans les grandes villes, comme on le sait, le transport de ces ordures à l'aide de tonneaux n'est pas possible, même en les mélangeant avec de la tourbe ou des balayures. La densité de la population des grandes villes exige que les déjections soient rapidement éloignées de la banlieue. C'est ce qu'on obtient le plus sûrement à l'aide d'une canalisation bien ordonnée, dans laquelle ces matières sont entraînées par l'eau.

Il est vrai que les eaux de latrines se déversent directement à la rivière sans avoir été épurées; mais étant donné qu'à la suite d'averses, une partie d'entre elles, même dans les villes canalisées, est fatalement entraînée dans les cours d'eau, notre attention doit être attirée sur la composition de ces eaux non épurées. Cependant les eaux d'égout, à de rares exceptions près, ne sont pas uniquement constituées par les eaux provenant des lieux d'aisances; presque toujours ces dernières y sont mêlées à des eaux ménagères (eaux de cuisine, eaux de lavage, eaux de lessive) additionnées elles-mêmes de toutes sortes de déchets de cuisine, débris de légumes, etc. Les égouts reçoivent en outre les eaux résiduaires de la petite industrie et des industries en chambre, ainsi que d'autres eaux résiduaires très complexes, variant suivant la profession et la nature des habitants. On comprend donc aisément que les valeurs relatives à la consommation d'eau ou à la quantité d'eaux résiduaires que reçoivent les égouts, par tête d'habitant, doivent varier beaucoup, comme l'établit le tableau ci-après (voir page 349) [1].

Il résulte, tout d'abord, de ce tableau que la proportion d'eaux d'égouts par tête d'habitant varie beaucoup dans les

[1] D'après R. Baumeister, *Stadt Strassenwesen und Stadtereinigung*. Berlin, 1890.

EAU D'ÉGOUT. — Grammes par mètre cube, milligrammes par litre à	Résidu d'évaporation.	Matière en suspension.		Matière dissoute.		Azote.		Eau d'égout par tête et par jour.
		Inorganique.	Organique.	Inorganique.	Organique.	Grammes par mètre cube.	Grammes par tête et par jour.	Litres.
Berlin	1,425	217	453	506	249	70	7	100 [3]
Dantzig	1,265	216	379	499	171	65	12	180 [3]
Essen	1,161	105	213	613	230	106	20	190
Wiesbaden [1]	1,947	40	34	1,780	93	23	8	345
Munich [2]	671	40	80	361	190	—	—	465
Francfort-sur-le-Mein :								
Par un temps sec	1,006	76	72	573	285	47	5	100
Au dégel	1,488	797	203	238	250	67	21	320
Dans le bassin de décantation	2,241	377	919	364	581	115	21	180 [3]

[1] Provenant du Salzbach, qui est l'égout collecteur.
[2] Faubourg Louis et Max.
[3] Moyenne de l'année.

différentes villes — ou dans les parties canalisées de ces villes — et que ces eaux sont aussi polluées à des degrés différents. On pourrait s'attendre à ce que les quantités d'azote — azote total — servissent ici de mesure pour apprécier leur degré d'impureté. Cependant ce n'est pas le cas, comme le prouve l'exemple d'Essen, où il était interdit d'introduire des excréments [1], défense qui néanmoins n'a naturellement pas été observée. L'exemple de Wiesbaden montre l'influence des sources minérales avec leurs sels inorganiques. Les chiffres relatifs à Francfort-sur-le-Mein permettent de constater l'influence exercée par la pluie. Celle-ci, par la vitesse plus grande du courant, entraîne dans les égouts des matières en suspension qui s'y sont déposées lorsque l'eau était au repos; il en résulte une augmentation des matières en suspension en même temps qu'une diminution par dilution de la quantité de matières solubles.

Pour Berlin, nous devons faire observer que les chiffres mentionnés pour l'azote dans le tableau qui précède sont beaucoup trop faibles, ainsi qu'il résulte d'analyses plus récentes.

E. Salkowsky a trouvé dans l'eau d'égout filtrée en moyenne 109 milligrammes et J.-H. Vogel 118^{mgr},6 d'azote total, tandis qu'Alex. Müller, se fondant sur des analyses faites jadis par lui, indique 100 milligrammes.

La composition des eaux d'égout d'*une même* ville varie suivant les jours et les mois, comme le prouvent les analyses de B. Fischer, de Breslau, qui pourtant n'indiquent malheureusement pas les valeurs de l'azote total. Pour apprendre à connaître en détail la composition de pareilles eaux, nous donnons ici par exception (car cela n'est pas nécessaire pour nous) tous les chiffres trouvés, sauf ceux relatifs à la dureté.

[1] A l'époque où ces chiffres ont été établis.

Eaux d'égout de Breslau.

UN LITRE CONTIENT EN MILLIGRAMMES.	11 avril 1893.	9 mai 1893.	6 juin 1893.	11 juillet 1893.	9 août 1893.	12 septembre 1893.	10 octobre 1893.	7 novembre 1893.	12 décembre 1893.	8 janvier 1894.	14 février 1894.	15 mars 1894.
Résidu d'évaporation	981	950	926	1,159	1,014	929	780	1,282	1,612	1,363	1,091	1,030
Matières en suspension	284	257	246	305	258	194	110	439	571	410	323	315
organiques	228	191	171	214	183	124	75	242	459	319	243	223
inorganiques	56	66	75	91	74	70	35	197	111	91	79	92
Matières solubles	697	693	680	854	756	735	670	843	1,041	953	768	715
organiques	247	217	188	317	310	292	191	306	272	353	284	208
inorganiques	450	476	492	537	446	443	478	537	769	599	484	507
Chlore	159	155	128	162	143	145	155	155	282	210	161	135
Acide sulfurique	81	79	88	44	88	68	83	136	128	68	92	57
— phosphorique	16	19	16	21	9	15	18	13	37	30	17	14
— silicique	16	16	13	14	15	13	15	13	21	17	12	13
Ammoniaque	100	112	50	100	75	87	117	87	132	112	75	50
Chaux	71	72	65	73	84	85	59	114	114	115	70	88
Magnésie	10	8	23	19	12	25	10	23	34	22	24	17
Oxyde de fer et alumine	1	3	21	14	2	1	1	6	2	2	2	5
$KMnO^4$ employé pour 100 centimètres cubes.	16	20	15	21	17	19	14	13	2	37	25	25

Mais les valeurs ne varient pas seulement d'un mois à l'autre.

Th. Weyl [1] a trouvé pour les différentes heures de la journée :

Moment de la journée.				Milligrammes d'azote par litre.
10 juillet,	10 heures du soir			85
13 —	7 —	du matin		98
16 —	à midi			127
17 —	5 heures du soir			87
13 —	8 —		(pluie locale)	55

Il faut noter la diminution d'azote pendant la « pluie locale » et l'augmentation à midi, ce qui montre l'influence des déjections du matin.

J.-H. Vogel a confirmé les observations de Th. Weyl par de nouvelles recherches et il a, en outre, constaté une augmentation entre 6 et 7 heures du matin, par suite des déjections du soir. C'est ce qu'indiquaient déjà les chiffres que nous venons de citer.

Dans les différents quartiers d'une ville canalisée, les eaux résiduaires n'ont pas non plus la même composition. Meissl [2] nous fournit les chiffres suivants, qui se rapportent aux eaux de six égouts différents à Vienne, après dépôt des matières en suspension :

Milligrammes par litre.						
Azote	352	179	197	160	160	84
Acide phosphorique	73	30	26	20	25	20
Potasse	203	1000	136	120	92	85

Les excréments de nos animaux domestiques. — Nous devons aussi parler des déjections de nos animaux domestiques. Le fait qu'ils vivent dans nos maisons nous oblige à tenir

[1] *Versuch über den Stoffwechsel Berlins*. Berlin, 1894, d'après J.-H. Vogel.

[2] *Bericht über die landw. Verwertung der Wiener Abfallwässer*. Wien, 1895, S. 25.

[illegible] Grammes par kilogramme.	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]								
Fèces	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Urine	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Mélange des deux	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]								
Fèces	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Urine	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Mélange des deux	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]								
Fèces	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Urine	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	—	—
Mélange des deux	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Porc.								
Fèces	[illegible]	125	6 5	[illegible]	[illegible]	3,0	—	—
Urines	975	21	3 5	12	1 0	7 5	—	—
Mélange des deux	845	115	5 5	35	1 5	5 0	4 100	730
Fumier ordinaire d'écurie [2].								
Frais	710	246	4 5	44	2.1	5.2	—	—
Un peu fermenté	750	192	5.0	58	2 6	6 3	—	-
Fortement fermenté	790	145	5 8	65	3 0	5 0	-	—
Purin [1]	974	16	1 6	10	0.1	5 0	—	—
Fumier frais.							Grammes par an.	
D'oies	820	140	6 0	40	4,0	4.0	11.470	
De canards [3]	566	262	10 0	172	14.0	6 2	8 285	
De poules	597	294	11 0	84	8 0	6 0	8.523	
De pigeons	620	315	18.0	65	20,0	15 0	2,702	

[1] D'après AD. MAYER, *Dungerlehre*, IV. Aufl. 1895. Quand deux chiffres étaient indiqués, j'ai pris la moyenne. C'est le cas pour la composition des excréments de porc, qui varie considérablement avec la nourriture; il en est naturellement de même pour les purins. Pour nous, les moyennes suffisent.

[2] D'après R BLASIUS, *Stadtereinigung*, 1897. Pour le bœuf, les chiffres se rapportent, d'après HENNEBERG et STOHMANN, à des bêtes de 500 kilogrammes, pour le porc à des bêtes de 6 à 8 mois.

[3] D'après E. WOLFF, *Praktische Dungerlehre.*

compte de leurs déjections, parce qu'elles peuvent contribuer à polluer nos cours d'eau. En première ligne viennent naturellement les déjections liquides et le purin.

L'agriculture a besoin de ces excréments pour entretenir et augmenter la fertilité du sol. Elle est donc obligée de les recueillir avec plus ou moins de soin. Mais l'état de certaines fosses à fumier, dans nos campagnes et ailleurs, laisse encore beaucoup à désirer, et les soins qu'on devrait apporter à obtenir des engrais le maximum de produits utiles à la végétation est souvent négligé. Il suffit, pour s'en rendre compte, de voir les rigoles de purin qui se forment dans les villages et de sentir l'odeur qui se dégage des tas de fumier dans les petites et les grandes fermes, souvent même chez nos grands propriétaires.

Nous n'avons à nous occuper spécialement ici que du préjudice causé par le purin qu'on laisse s'écouler par manque de soin. Ces eaux peuvent, notamment lorsque des averses font déborder les fosses à purin, arriver en excès dans les petits cours d'eau et leur porter préjudice.

Le nombre des bestiaux est naturellement beaucoup plus élevé dans les villages, dans les petites et moyennes villes que dans les grandes villes modernes. Dans ces dernières, on ne garde que des chevaux, plus rarement des vaches, des cochons et de la volaille. Les principales fermes se trouvent à la limite de la banlieue et même plus loin, parce que les loyers y sont moins élevés.

R. Blasius[1] établit entre les villes de Brunswick et de Helmstedt, dont les populations sont dans le rapport de 10 : 1, — 105,000 à 11,000 habitants, — le parallèle suivant, en prenant comme mesure la quantité d'azote. (Voir le tableau ci-après, page 355.)

R. Blasius calcule, d'après la population, les quantités d'azote total contenues dans les déjections humaines de ces deux villes; elles sont respectivement de 632,625 kilogrammes

[1] *Stadtereinigung*, S. 20.

EXCRÉMENTS DE	BRUNSWICK.		HELMSTEDT.	
	Nombre.	Kilogrammes d'azote.	Nombre.	Kilogrammes d'azote.
Chevaux	3,384	111,164.0	499	16,392.1
Bœufs	575	22,864.0	604	28,218.9
Porcs.	1,617	. 14,755.1	1,580	14,417.5
Moutons.	248	5,765.0	1,604	14,614.3
Chèvres.	752		306	
Pigeons, environ.	10,000	1,105.0	Dans les mêmes	239.4
Poules, —	5,000	1,021.7	proportions	
Canards, —	300	17.4	que	
Oies, —	21	1.3	pour Brunswick.	
	Total. . . .	156,693.5	Total . . .	73,882.2

et 67,480 kilogrammes. En outre, à 1 kilogramme d'azote contenu dans les déjections des habitants correspondent, respectivement à Brunswick et à Helmstedt, 262 grammes et 1,090 kilogrammes d'azote provenant des déjections des animaux. Cet exemple montre à l'évidence les différences qui existent, d'une ville à une autre, entre les quantités relatives des déjections humaines et des excréments animaux.

Grâce à l'emploi des engrais, par exemple pour l'entretien des promenades et des jardins des grandes villes, on s'efforce d'y recueillir avec soin les excréments des animaux; d'autre part, on se sert de litières de paille, parce qu'elles absorbent bien les déjections. C'est pour ces motifs que la quantité de déjections animales qui pourrait souiller nos cours d'eau est de beaucoup diminuée dans les grandes villes.

Dans les villes canalisées, les quantités de purin, surtout formé d'urine, provenant directement des écuries et qui s'écoulent à l'égout, peuvent être considérées comme insignifiantes. Il en est de même des eaux de lavage d'écuries, qui ont à peu près la même composition que les eaux des rues dans les grandes villes.

Les immondices que déversent les écuries dans les rues exercent une grande influence lorsque le nettoyage des rues ou les averses les entraînent dans les égouts.

L'effet nuisible que peuvent exercer les *eaux des rues* des grandes villes est dû surtout aux déjections animales. Nous devons les considérer comme formées presque exclusivement de déjections de cheval plus ou moins diluées; dans les petites villes, il s'y ajoute des matières fécales et de l'urine d'autres animaux domestiques.

La littérature fournit peu de renseignements sur la composition chimique de ces eaux des rues. Les données relatives à la composition des balayures de rues et dont nous parlerons plus loin fournissent certaines indications qui nous permettent de juger de la nature de ces eaux. En outre, nous possédons des analyses des eaux des rues de Paris, publiées par Durand-Clay, et qui peuvent trouver ici leur place.

Eaux des rues de Paris, recueillies directement avant le nettoyage et dans les égouts collecteurs principaux [1].

MILLIGR. PAR LITRE. — Origine :	Substance organique		Azote			
	totale.	dissoute.	total.	organique.	ammoniacal	nitrique
Rues canalisées	827,000	50,300	32,500	20,000	19,540	2 400
Rues non canalisées . .	801,900	83,200	56,800	34,650	37,530	3,100
Égouts collecteurs principaux; moyenne [2]. .	85.100	17.100	14,400	8,580	6 720	2 300

Dans de plus petites villes non canalisées, il se mêle directement aux eaux des rues :

Les eaux de cuisine et les eaux ménagères, que l'hygiène considère comme aussi et même plus nuisibles que les matières fécales. L'examen bactériologique démontre qu'il s'y trouve des quantités énormes de germes microbiens; il est possible et même probable qu'il s'y trouve aussi des bactéries pathogènes. On en a démontré la présence [3]. En ce qui concerne les poissons, ces germes pathogènes n'offrent pas de danger direct, pour autant du moins que nos renseignements soient suffisants et comme le prétend J. Frenzel d'après ses expériences sur des poissons vivant dans une eau qui renfermait des bacilles du choléra. Pour les écrevisses, la question est beaucoup plus sérieuse. Voir plus loin.

[1] DURAND-CLAY, *Bericht über den internationalen Kongress für Hygiene, etc.* Wien, 1887, Heft IV. D'après F.-V. BÜSING, *Die Kanalisation,* S. 131.

[2] Clichy et Saint-Denis. Il faut tenir compte ici de l'influence diluante des eaux pluviales.

[3] DURAND-CLAY, *Bericht über den internationalen Kongress für Hygiene, etc.* Wien, 1887, Heft IV. D'après F.-W. BÜSING, *Die Kanalisation,* S. 131.

Étant donné que ces eaux renferment des matières putrescibles avec les produits de leur décomposition, parmi lesquels il faut citer en toute première ligne l'hydrogène sulfuré qui se forme aux dépens des substances albuminoïdes; étant donné, en outre, que ces eaux absorbent de l'oxygène, leur composition chimique nous intéresse spécialement. Fait surprenant, nous n'avons pas trouvé de données à ce sujet dans la littérature.

J'ai cru devoir combler cette lacune, et grâce à l'amabilité de la Société allemande d'agriculture, j'ai pu entreprendre, dans son laboratoire expérimental, des études sur des eaux recueillies dans mon propre ménage.

Nous donnons les résultats de ces analyses dans le tableau ci-après, page 359. Voici l'explication des diverses colonnes de ce tableau.

1-5. — Eau de vaisselle, de cuisine et eau de cuisson provenant d'un ménage de 5 adultes et 2 enfants (de 10 à 12 ans); en **1** et **5** deux hôtes adultes en plus. Les repas consistaient pour **1** à **4** en potage, viande rôtie, légumes et pommes de terre, compote, fruits (poires prunes, raisins); **5** était composé de même, et en outre du poisson et un mets sucré (riz). La quantité d'eau de vaisselle, en évaluant ce qu'on n'a pas mesuré, comprenait pour 7 personnes $60^{l},8$ par jour (36 à 48 mesurés), et par tête et par jour, en y comprenant les hôtes, $7^{l},8$.

6. — Eau de lavage (eau de lessive : $199^{l},5$ et première eau de rinçage : 233 litres mélangés) de 48 kilogrammes de linge (linge de corps, de table, de cuisine, de lit).

7. — Eau sale de trois chambres à coucher habitées par 3 adultes et 2 enfants et d'une superficie de 65 mètres carrés (ensemble 23 litres).

8. — Eau pour la toilette du matin de 5 adultes (3 domestiques) et 2 enfants : ensemble $19^{l},1$, soit par tête $2^{l},7$.

Les déchets de cuisine (restes de légumes, pelures de pommes de terre, de fruits, etc., os), dont nous ne parlerons pas en détail, étaient en moyenne, par jour, de 1,650 grammes;

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eaux de cuisine et de ménage [1].								
	1	2	3	4	5	Moyenne 1-5	6	7	8
Matières en suspension	1,915	3,605	1,507	1,802	2,450	2,258	2,242	318	220
dont organiques	1,729	3,395	1,268	1,478	1,996	1,973	1,977	195	193
Résidu total d'évaporation	3,469	8,807	5,011	4,626	7.905	5,964	4,379	855	541
dont : Matière organique	2,120	5,748	2,844	2,844	3,828	3,477	2,993	272	296
Azote	61	130	101	82	187	112	71	11	10
Acide phosphorique	34	58	44	33	71	48	4	2	1
Graisse	566	1,640	567	811	1,053	927	743	—	146

[1] Voir R. Blasius, *Stadtereinigung*, S. 27. — C. Weigelt, *Kleine Beiträge zur Abwasserfrage* (Technisches Gemeindeblatt, 1899, Nr 18. Analytiker : Dr. A. Pritzkow).

soit par tête, y compris les hôtes, 211gr,5 plus 831 grammes d'os avec 573 grammes de matière sèche pour les cinq jours d'expérience. Dans la colonne **5**, il y a des os de poulets et des arêtes de poisson dans l'ensemble des déchets.

Dans les autres eaux, **6** à **8**, on a calculé le nombre des bactéries et l'on en a trouvé : en **6**, environ 8,000,000; en **7**, 1,400,000 et en **8**, 2,400,000 par centimètre cube, ce qui fait par gramme d'eau de lavage : 63,500,000; par centimètre carré de parquet : 50,000, et 1 à 3 millions par centimètre carré de surface lavée du corps, estimée à $^1/_2$ mètre carré par personne.

Balayures des rues. — Elles se composent des parcelles de pavés enlevées par les roues des voitures et les sabots des chevaux, des crasses apportées par la circulation des piétons dans les rues, ainsi que des déjections des animaux de trait et autres et, enfin, des balayures des maisons. Elles varient naturellemen en quantité. Th. Weyl les évalue, pour les grandes villes allemandes, à 180-230 kilogrammes par tête et par an, Richter les évalue à 90-200 litres.

Si l'on songe aux circonstances variées qui produisent ces balayures, on ne s'étonnera pas des différences que présente leur composition chimique, ainsi que le prouvent les analyses ci-dessous.

Ces balayures devraient être recueillies et utilisées, car elles ne sont pas sans valeur pour l'agriculture; en même temps ce serait utile pour la pêcherie. Lorsqu'il pleut, les éléments qui s'entraînent le plus aisément sont amenés dans nos cours d'eau, où ils deviennent funestes parce qu'ils sont putrescibles. C'est pourquoi nous devons les examiner de plus près.

Du Menil [1] ainsi que Muntz et Girard [2] ont analysé des balayures (gadoue) des rues de Bruxelles et de Paris et ont

[1] *Annales d'hygiène publique*, 1884, p. 305.

[2] *Revue d'hygiène et de la police sanitaire*, 1890, p. 609. G. Drouineaud, qui fournit ces chiffres, distingue entre gadoue verte (fraiche) et gadoue noire (ancienne). Les chiffres indiqués correspondent à la première, ceux relatifs à la gadoue noire ne nous intéressant pas.

trouvé les résultats consignés dans les n°s 1 et 2. J'ai ajouté dans le tableau quatre analyses analogues que j'emprunte à J.-H. Vogel [1].

Numéros.	GRAMMES PAR KILOGRAMME.	Cendres.	Matières organiques.	Azote.	Acide phosphorique.	Potasse.	Chaux.
1	Bruxelles.	771	229	3,9	6,0	3,1	31,7
2	Paris	516	181	4,3	5,2	5,6	32,6
3	Schmiegel lez-Posen. . . .	883	117	4,3	6,9	1,2	8,1
4	Dresde (syénite).	547	125	2,9	3,0	2,1	12,6
5	Dresde (asphalte)	350	131	2,4	3,6	2.2	9,5
6	Berlin (asphalte)	377	224	4,8	4,5	3,7	18,9

Des analyses qui précèdent, celles relatives à Bruxelles et à Schmiegel seules sont calculées sur matière sèche, comme on peut le voir en additionnant cendres + matières organiques = 1000. Les autres sont faites sur des produits plus ou moins riches en eau, ainsi qu'on peut l'établir par le calcul. N° 3 se rapporte à un échantillon pris après la fonte des neiges sur une chaussée en granit (analyste : Peters). N°s 4 et 5 ont été analysés par le laboratoire de Pommritz (Saxe); n° 6 par Th. Pfeiffer, d'Iéna.

Nous avons dit plus haut que les hygiénistes regardent les eaux des rues et surtout les eaux ménagères comme particulièrement dangereuses. On peut admettre que pour ces eaux, que nous pouvons considérer comme un délayage de balayures de rues en mélange avec les eaux de cuisine et de ménage dans les petites villes, cette appréciation est due à ce que les crasses de la rue sont riches en microbes et que les habitations peuvent fournir des germes pathogènes.

[1] *Die Verwertung städtischer Abfallstoffe*, S. 463.

Ainsi Manfredi [1] trouva dans la gadoue des rues de Naples, dont la malpropreté est légendaire :

	Germes dans 1 gramme de gadoue fraîche.	Germes dans 1 gramme de déjections humaines fraîches.	Germes dans 1 centimètre cube d'eau d'égout.
Maximum	6,668,000,000	2,300,000,000	38,000,000
Minimum.	910,000	25,000,000	10,500
Moyenne.	716,521,000	381,000,000	544,524

A Munich, la gadoue est moins dangereuse, car on n'a trouvé en juillet 1889 que :

8,000	germes par gramme	sur la Frauenplatz.
186.000	—	dans Schwanthalerstrasse.
1,183,000	—	dans Herzog Wilhemstrasse.
12,840,000	—	dans Theatinerstrasse.

Cependant d'autres expériences renseignent 500,000 à 10 millions de germes par gramme.

Balayures des marchés. — Elles ont peu d'importance pour nous, parce qu'elles sont enlevées et utilisées. Plus funestes sont les eaux du nettoyage des marchés, qui, du moins dans les petites villes, amènent directement dans les cours d'eau les débris restés sur les marchés.

Nous ne savons rien de précis sur les quantités des balayures des marchés; heureusement nous pouvons au moins citer des chiffres officiels sur celles qui sont répandues dans les halles de Berlin [2].

Elles fournissent en moyenne par jour :

[1] D'après R. Blasius, *Stadtereinigung,* S. 27.

[2] D'après des relevés du commencement de l'année 1899, que nous devons à l'amabilité de M. L. Maurer, chef de la police.

Nos DES HALLES.	Déchets en mètres cubes.	Nos DES HALLES.	Déchets en mètres cubes.
I (centrale).	8 [1]	VIII	2,75 +
II	6 +	IX	3 +
III.	2,5	X	1
IV.	3	XI	1,5
V	2	XII	[2]
VI.	2	XIII	2
VII	2,75 +	XIV	3,5

Toutes ces halles produisaient des déchets de papier, de légumes, de fruits, de fleurs, de viande, de gibier, de poisson et d'articles de parfumerie. Nous ne spécifions pas davantage. Pour les halles II, III, IV et V, on renseignait respectivement $0^{m3},5$, $0^{m3},5$, $0^{m3},5$, $0^{m3},2$, avec cette remarque qu'il ne s'agissait que de petits déchets. Les déchets grossiers et les conserves gâtées, etc., étaient livrés à la voirie.

Les halles marquées d'une croix avaient donné une moyenne des chiffres d'été et d'hiver, dont nous avons tiré la moyenne pour l'année. Ces documents indiquaient pour les mois d'hiver des chiffres moitié moindres que ceux fournis par les mois d'été, ce qui était dû probablement à la forte diminution des déchets encombrants de légumes et de plantes pendant les mois d'hiver.

Cela indiquerait pour Berlin 40 mètres cubes en vingt-quatre heures. Si nous admettons que le mètre cube correspond à 10 quintaux, ce que nous pouvons faire sans erreur appréciable, cela donnerait 400 doubles quintaux par jour et 120,000 par an, soit 7,5 kilogrammes par an et par tête d'habitant, en tenant compte des dimanches et jours de fête.

Balayures des maisons. — L'enlèvement des balayures constitue une grande difficulté pour une ville; non seulement le

[1] Exprimés par 80 quintaux métriques.

[2] Fermée.

transport, mais aussi l'établissement des dépôts d'ordures. La poubelle reçoit tous les déchets, surtout les cendres et les restes solides des cuisines. Dans les petites villes et les villages, une grande partie des ordures, pour autant qu'on ne les rassemble pas en tas ou dans des fosses pour les utiliser comme engrais, sont jetées à la rivière. Il suffit de voir certains étangs et certains ruisseaux dans les villages. Cela peut faire du tort aux poissons en encombrant par des matières putrescibles et en rendant impraticables les endroits où ils vont frayer, sans parler du préjudice direct qui peut en résulter pour les poissons mêmes.

Le tableau suivant, qui rend compte de la composition des balayures des maisons à Amsterdam, montre la variété et parfois même la valeur des objets qui les composent [1] :

Balayures des maisons d'Amsterdam.

OBJETS TRIÉS du 1er janvier au 15 juin 1890.	QUANTITÉ. Kilogr.	OBJETS TRIÉS du 1er janvier au 15 juin 1890.	QUANTITÉ. Kilogr.
Papier	288,485	Cordes, ficelles . . .	3,250
Tapis	36,290	Crins de cheval. . . .	72
Tissus de laine.	1,315	Fourrures	4,823
Drap	1,995	Souliers	28,590
Laine tricotée	5,550	Souliers de caoutchouc.	157
Laine de couvertures. .	1,804	Os	14,600
Demi-laine	7,134	Verre	218,800
Ouate.	450	Fer	39,000
Étoffes d'habillement. .	4,000	Métaux de fonte. . . .	85
Tissu bleu.	4,760	Cuivre.	860
Tissu de jute	13,800	Zinc.	2,010
Linge (toile).	11,600	Plomb.	320
Torchons	6,575	Étain	210
Loques à poussière. . .	27,515	Éclats de marbre . . .	1,000

[1] J.-H. Vogel, *Die Verwertung städtlicher Abfallstoffe*, S. 450.

La vente des matériaux qui précèdent, et dont nous avons d'ailleurs abrégé la liste (on a trié, par exemple, différentes sortes de tapis et de verres), a produit 35,125.10 marks, soit fr. 43,906.35.

Chez nous, les poubelles contiennent aussi les cendres et les restes de bois à brûler, ainsi que des déchets de légumes.

Nous empruntons à J.-H. Vogel les chiffres suivants. (Voir le tableau page 366.)

Voici encore, pris à la même source, des chiffres sur la composition des matières grossières. (Voir le tableau page 367.)

Récemment, par ordre du conseil municipal de Berlin [1], on a fait des recherches, restées jusqu'alors imparfaites, sur la composition des ordures des maisons de Berlin.

A cette fin, on a recueilli et pesé quinze charretées d'ordures provenant de quinze endroits différents, répartis sur tout le territoire de la commune. Cette opération a été répétée pendant deux périodes, la première du 15 mars au 22 avril (*a*), la seconde du 20 juillet au 14 août 1895 (*b*). Les charretées pesaient en moyenne respectivement 2,753 (*a*) et 2,546 kilogrammes (*b*).

Nous donnons dans le tableau suivant les valeurs maxima et minima des composants et la moyenne des quinze résultats. La moyenne d'ensemble a été calculée d'après les trente déterminations. On a réuni les chiffres pour le verre incolore et le verre colorié. (Voir le tableau page 368.)

Dans les balayures de maison, ce qui nous intéresse surtout, c'est naturellement la partie la plus fine ; J.-H. Vogel [2] a trouvé pour des balayures fines provenant de Brême et de Berlin la composition que nous indiquons page 369. Il avait fait moudre les premières après triage du gros, tandis qu'il a pris les secondes à un tas d'ordures qui avait séjourné neuf mois et qui, passé par un tamis de 6mm,5, donnait 60,2 °/o de fin.

[1] Bohm und Grohn, *Die Müllverbrennungs-Versuche in Berlin. Bericht an den Magistrat.* Berlin, 1897.

[2] *Die Verwertung städtlicher Abfallstoffe*, SS. 447 und 454.

Ordures de maisons allemandes.

Les ordures contenaient en kilogrammes par 1,000 kilogrammes à :	Humides		Fines.			Grossières.			Ensemble.		
	Grossières.	Fines.	Eau.	Matières combustibles.	Incombustibles.	Eau.	Combustibles.	Incombustibles.	Eau.	Combustibles.	Incombustibles.
Cologne 1	490,5	509,5	45,7	59.9	403,9	149,4	140,2	200,9	195,1	200,1	604,8
— 2	241,8	758,2	116,5	94,7	547,0	76,4	38,6	126,8	192.9	130,3	673,8
— 3	416,8	583,2	19,7	124,9	436,8	17,9	132,7	266,2	37,6	257,6	704,8
Hambourg	455,8	544,2	83,1	147,2	313,9	62,2	114,8	278,8	145.3	262,0	592,7
Berlin [1]	—	—	—	—	—	—	—	—	227,5	173,0	600,5
Moyenne [2]	397,8	602,2	71,6	129,2	401,4	70.9	123,5	203,4	156,4	225,0	618,6

[1] Moyenne de deux résultats très concordants.
[2] Moyenne des dix analyses de J.-H. Vogel, *loc. cit.*, p. 458.

Le triage des déchets humides a donné en kilogrammes par 1,000 kilogrammes.	COLOGNE 1. 1er juillet 1895	COLOGNE 2. 2 août 1895.	COLOGNE 3. 29 août 1895.	HAMBOURG. 25 sept. 1895.	MOYENNE [1].
Gousses, pelures de pommes de terre, restes de légumes et de pain	260,5	51,8	57,9	86,5	94,3
Os et arêtes de poisson	13,4	0,6	11,3	2,5	12,4
Coquilles d'œufs	4,1	1,7	0,7	0,0	1,9
Papier et carton	7,8	1,7	21,2	13,7	20,2
Paille, foin, feuilles	28,5	125,4	13,8	12,9	44,2
Chiffons, ficelles. ouate	4,6	0,5	5,4	3,1	9,2
Bois et liège	6,3	2,3	8,8	6,2	7,0
Charbon, coke, scories	63,9	33,1	159,8	256,9	133,5
Clous, fers, diverses parcelles métalliques	3,6	3,5	9.0	35,8	12,0
Tessons de verre, de porcelaine, de grès	15,6	0,2	17.6	38,2	22.3
Pierres	87,2	20,9	111.3	—	41,4
TOTAL	495,5	241,7	416,8	455,8	398,4

[1] D'après six essais de VOGEL.

Ordures de maisons de Berlin.

Kilogrammes dans 1,000 kilogr.		Morceaux de charbon.	Charbon à demi-brûlé.	Papier.	Chiffons.	Os.	Bois.	Débris végétaux et animaux.	Ordures en poussière.	Scories.	Verre.	Fer.	Autres métaux, y compris boîtes en fer-blanc.	Tessons.
Maximum.	a. . . .	23,6	32,0	50,8	12,6	7,3	3,8	329,8	611.6	33,2	19,9	3,6	97,1	181,8
	b. . . .	5,2	26.4	101.6	31,6	9.2	47,3	462,6	596,7	31,6	25,8	3,1	9,8	216,2
Minimum.	a. . . .	0,3	1.4	10,2	4,3	3,7	0,7	252,1	406,8	10,6	6,9	0,6	3,2	23,6
	b. . . .	0,6	2,8	37.9	8,3	3,7	1,1	240,5	315,9	1,9	4,2	0,9	2,5	36,0
Moyenne.	a. . . .	3,3	13,6	27.4	8,7	4,9	1,8	296,0	540,3	17,7	11,7	1,9	11,4	61,3
	b. . . .	2,1	13,2	59,7	15,7	5,5	6,6	360,7	431.9	11,8	14,0	2,0	4,9	71,9
Moyenne d'ensemble.		3,0	13,4	43,5	12,2	5,2	4,2	328,3	486,1	14,7	12,8	1,9	8,1	66,6

Les analyses ont donné en grammes par kilogramme :

	BRÊME.	BERLIN.
	—	—
Matière sèche	983.8	810.0
Cendres	807.4	609.4
Matière organique	176.4	200.6
Azote	4.6	3.5

Les quantités d'azote sont si faibles que ces produits ne peuvent avoir, pour nous, d'autre inconvénient que de former des dépôts de limon.

Cendres. — Suivant la nature des combustibles employés, les cendres offrent aussi des compositions chimiques très différentes, et leur action nuisible sur les cours d'eau présente divers degrés, soit qu'elles y soient entraînées complètement, soit que seuls les produits de leur lavage par les eaux y pénètrent. Les bois, suivant les parties de l'arbre, donnent des quantités très différentes de cendres (troncs, gros rameaux, petites branches, écorce). En général, ce sont les petites branches qui donnent le plus de cendres.

Les différentes sortes de bois présentent des teneurs en cendres très variées et, de plus, une espèce donnée, suivant l'endroit et la composition du sol où elle pousse, donne des cendres très variées dans leur quantité et leur composition, au point de vue absolu comme au point de vue relatif.

Citons ici les résultats de l'analyse des cendres de quelques essences [1] :

[1] D'après MUSPRATT, *Techn. Chemie*, 1893, S. 359.

Cendres de bois contenant gr. par kilogr.	Pin.	Pin (autre espèce).	Hêtre rouge.	Tilleul.	Bouleau.
Potasse	103.5	61.4	69.4	0 55	127.2
Soude	39.3	85 4	3.4		
Chaux	208.4	157.1	435.0	465.0	438.5
Magnésie.	44.3	12.1	53.9	19.7	25.2
Oxyde manganeux. . .	55.6	109.1	trace.	5.4	29.4
Oxyde ferrique	34 1	50.3	6 2	1.0	2 4
Acide sulfurique . . .	35.2	72.0	6 2	8.1	3.7
Silice	82.0	46.8	21.3	19.7	47.8
Acide phosphorique. .	30.0	65.0	75.4	25.1	36.1
Sable	70.0	57.3	42.8	—	—

Cendres de tourbe. — Les teneurs en cendres des différentes tourbes présentent de très grandes variations, en général de 0,5 à 20 °/₀. D'après J.-H. Vogel [1], elles varient selon que la tourbe est plus ou moins décomposée et constituent, en général, 6 à 12 °/₀; du poids total; elles peuvent cependant atteindre 60 °/₀ et plus lorsque des matières minérales se sont déposées en grande abondance dans la tourbière.

Voir dans le tableau ci-après, page 371, des analyses de cendres de tourbe, donnant leurs principaux constituants [2].

La tourbe ne doit pas seulement nous intéresser par ses cendres, qui sont jetées dans les rivières par négligence, mais aussi par son pouvoir absorbant pour l'eau (litières de tourbe). Les chiffres suivants (p. 372) rendent compte du pouvoir absorbant de la tourbe de mousse sèche.

[1] *Die Verwertung städtlicher Abfallstoffe,* S. 437.
[2] D'après Muspratt, pp. 437-438.

Analyses de cendres de tourbe.

1 KILOGR. DE CENDRES DE TOURBE RENFERME EN GRAMMES.	Potasse.	Chaux.	Magnésie.	Alumine.	Oxyde ferrique.	Acide phosphorique.	Acide sulfurique.	Sable et argile.
Origine de la tourbe.								
Grunewald	4.4	47.2	15.1	39.6	35.1	17.7	11.2	765.6
Harz, légère.	13.3	237.8	156.9	106.9	67.6	55.0	110.6	173.2
Harz, lourde.	6.6	160.6	20.9	166.1	196.0	58.1	101.2	282.7
Linum, la plus lourde	1.5	481.6	4.4	52.7	180.1	5.3	110.8	27.2
Marais de Kolbe, tourbe comprimée . . .	7.0	112.0	9.0	284.0	45.0	9.0	26.0	372.0

Origine.	Profondeur centim.	100 kilogr. absorbent en litres.
Marais de Burtange	15 — 47	990
— d'Osnabrück	112 — 147	1,601
Marais d'Helleweg	58 — 86	1,335
— de Stade	31 — 57	1,375
Marais de Karolinerhorst	15 — —	1,775
— de Stettin	60 — —	2,300
Grand marais des Mousses	0,20 —	1,140
— — de Königsberg	20 — 100	1,610

Ce n'est pas ici le lieu de parler des autres propriétés intéressantes de la tourbe; nous renvoyons à J.-H. Vogel [1], qui traite de ces questions d'une façon très approfondie.

Cendres de lignite et de houille. Cendres d'agglomérés. — La quantité de cendres de ces combustibles et la composition de ces cendres varient dans de très larges limites.

Les bons lignites contiennent 5 à 15 °/₀ de cendres; de bonnes houilles, 5 à 20 °/₀. Cependant ces deux produits renferment parfois 40 °/₀ de cendres et plus. De pareils charbons ne sont pas vendables.

Les charbons agglomérés se préparent au moyen de ces deux produits réduits en poudre, auxquels on ajoute un ciment pauvre en cendres. Quand on emploie les lignites, on se sert surtout de résine et de produits analogues à la paraffine; pour les houilles, on emploie du brai.

La teneur en cendres des agglomérés se rapprochera donc de celle des matières premières correspondantes. Depuis quelque temps, on voit aussi dans le commerce des briquettes de tourbe et de bois; en ce qui concerne la composition de leurs cendres, on peut leur appliquer ce qui vient d'être dit.

Nous avons à nous occuper surtout de l'oxyde ferrique et de l'acide sulfurique contenus dans les cendres, parce que les pluies traversant des tas de cendres peuvent entraîner des im-

[1] *Die Verwertung der städtischen Abfallstoffe*, S. 91.

puretés nuisibles, comme nous l'avons vu à propos des résidus de pyrites (page 295), sans parler de l'embourbement mécanique.

La quantité de fer est quelquefois très forte dans les cendres de houille, — jusqu'à 60 °/₀ et plus ; — par contre, les cendres de lignite sont plus riches en acide sulfurique, — jusqu'à 30 °/₀ et plus.

Nous avons appris à connaître, dans ce qui précède, les matériaux dont l'ensemble, provenant des habitations humaines, peut être une cause plus ou moins sérieuse de souillure pour nos cours d'eau.

Nous tenons à faire remarquer encore une fois que, grâce au nettoiement public des villes, les excréments humains sont les produits les moins funestes, surtout pour ce qui regarde les grandes agglomérations.

Nous avons déjà dit que pour éloigner ces produits en dehors de la banlieue, le système de chasse, qui dilue les déjections et les entraîne dans des canaux, n'a donné lieu à aucune remarque spéciale au point de vue de l'hygiène. Les eaux d'égout qui en résultent ne contiennent pas seulement les déjections humaines, mais des quantités plus ou moins considérables de toutes les matières citées plus haut, y compris les détritus que l'industrie et le commerce des habitants s'efforcent d'éloigner de leur demeure.

Mais comme les villes canalisées ne peuvent pas lancer directement leurs eaux d'égout dans les cours d'eau, sans causer un grand tort aux poissons, on a dû, comme nous le verrons plus loin, chercher à épurer ces eaux résiduaires.

Sans entrer ici dans la description de chaque procédé d'épuration, nous indiquerons cependant la composition des eaux de nettoyage des villes, telles qu'elles se présentent à nous après avoir subi l'épuration.

Le chapitre suivant sera consacré à une courte description des procédés et de leur mode d'action.

Ce qui nous intéresse seulement ici, ce sont les matières contenues dans les eaux d'égout épurées qui sont lancées à la rivière. Pour juger de l'efficacité de l'épuration, il est indispen-

sable de comparer des eaux épurées et non épurées. Les chiffres relatifs aux eaux résiduaires épurées, qui sont plus importants pour nous, sont imprimés en caractères gras.

Eaux épurées des villes canalisées. — *Eaux d'égout simplement clarifiées* des cliniques universitaires de Halle; recherche du laboratoire de W. Hübner[1]. Chaque fois, 1 litre de cette eau fut abandonnée quatre heures au repos — le 2 mai 1892 — et puis le liquide clair fut soigneusement décanté.

Matières en suspension (milligrammes par litre).

Moment de la prise d'échantillon.	Avant le dépôt.	Après le dépôt.	Différence absolue et °/₀.
7 heures du matin	224	**12**	212 = 94.4
8 » »	429	**28**	401 = 93.5
9 » »	475	**20**	455 = 95.7
10 » »	731	**20**	711 = 97.2
11 » »	444	**8**	436 = 98.3
12 » (midi)	526	**28**	499 = 94 7
1 » de relevée . . .	869	**30**	839 = 96.5
2 » » . . .	933	**29**	904 = 96.9
3 » »	862	**45**	817 = 94 8
4 » »	838	**35**	803 = 95 8
5 » »	599	**48**	550 = 91 9
6 » »	633	**26**	606 = 97 8
Moyenne des douze échantillons	630	**28**	603 = 95.6

Le nombre des germes qui fut déterminé dans dix échantillons (7 heures du matin à 4 heures du soir) avait diminué

[1] *Ueber Kanalwasserreinigung durch einfaches Sedimentieren ohne füllende Zusätze.* Inaug. Diss. Munich, 1893, S. 12. — Les valeurs ont été arrondies au milligramme.

dans huit échantillons, augmenté dans deux autres, après quatre heures d'attente, dans les proportions suivantes :

DIMINUTION :

Maximum.	Minimum.
— 890,680 = 54.7 %	— 203,584 = 13.3 %.

AUGMENTATION :

Maximum.	Minimum.
+ 442,446 = 23.80 %	+ 51,096 = 5 0 %.

MOYENNE — 469,010 = 29.3 %.

Voir aussi le tableau (p. 377) donnant la composition des eaux d'égout de Francfort.

Comme la ville d'Allenstein a établi actuellement de simples bassins de décantation, ainsi que nous le verrons dans le chapitre suivant, les chiffres que nous venons de citer sont d'un certain intérêt.

B. Proskauer m'a dit que pour les eaux d'Allenstein, 94 % des matières en suspension sont retenus, tandis que la quantité des matières dissoutes ne varie pas.

Eaux d'égout filtrées du pénitencier de Plötzensee. — Traitées par la chaux après filtration sur des filtres de gravier et de tourbe et abandonnées à la clarification dans des bassins de décantation. Procédé F.-R. Petri. Analyses de C. Bischoff [1].

[1] *Bericht über Untersuchungen von Spüljanchen vor und nach der Behandlung mit dem Petri'schen Reinigungsverfahren.* Berlin, 1882.

Milligrammes par litre.	Avant l'épuration.	Après l'épuration.
Matière sèche totale	4.492	364
Insoluble	4,000	—
Soluble donnant :	402	—
Résidu de calcination	360	331
Perte à la calcination	132	4
Chaux	91	80
Magnésie	15	trace.
Azote total	59	16
Azote ammoniacal	45	15
Acide phosphorique	10	8

Ce procédé n'a pas eu de succès, malgré les résultats remarquables obtenus par cet essai.

Procédé de F. Eichen [1]. — Les résultats indiqués ci-dessous ont été fournis par le laboratoire expérimental de Pankow. *A*) d'après E. Hintz et G. Frank; *B*) d'après J.-H. Vogel.

Milligrammes par litre.	A		B	
	Avant l'épuration	Après l'épuration.	Avant l'épuration.	Après l'épuration.
Résidu d'évaporation	1,241	1.162	—	—
Perte à la calcination	186	91	—	—
Azote total	142	71	228	89
Azote organique	—	—	59	18
Azote ammoniacal	—	—	169	70

Le procédé paraît digne d'attention. Mais il est vrai qu'il n'a pu être mis en pratique.

[1] *Sonderabdruck der allgemeinen Städtereinigungsgesellschaft m. b. H.* Wiesbaden, 1898.

Eaux d'égout non épurées et épurées de Francfort-sur-le-Mein [1].

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	CLARIFIÉE MÉCANIQUEMENT.			CLARIFIÉE PAR LA CHAUX.			CLARIFIÉE PAR LA CHAUX ET L'ALUMINE.		
	Eaux sales.	Eaux épurées.	Effet de l'épuration.	Eaux sales.	Eaux épurées.	Effet de l'épuration.	Eaux sales [3].	Eaux épurées [4].	Effet de l'épuration [5].
			°/o			°/o			°/o
Matière solide totale	1,695	**838**	50	1,910	**955**	50	2,256	**1,019**	43
Perte à la calcination.	960	**400**	42	1,360	**482**	31	1,476	**378**	27
Azote total.	72	**44**	61	111	**72**	67	121	**68**	50
Azote organique	44	**14**	32	66	**27**	41	63	**12**	20
Matières insolubles	864	**155**	17	1,490	**119**	8	1,298	**158**	16
Perte à la calcination.	644	**92**	14	980	**99**	10	919	**89**	15
Azote organique	41	**10**	24	55	**4**	7	52	**4**	21
Matières solubles.	831	**683**	82	420	**836**	200 [2]	757	**898**	78
Résidu de calcination.	515	**375**	53	40	**503**	1,200 [2]	364	**582**	65 [2]
dont : Alumine et fer. . . .	2	**8**	—	24	**7**	—	33	**15**	—
Chaux.	138	**121**	—	105	**208**	—	77	**156**	—
Acide sulfurique . . .	155	**120**	—	82	**223**	—	81	**180**	—
Perte à la calcination . . .	316	**308**	94	380	**338**	90	581	**282**	41
dont : Azote total.	31	**34**	109 [2]	56	**68**	120 [2]	63	**58**	57
Azote organique . . .	2	**4**	150 [2]	10	**23**	230 [2]	11	**7**	6
Ammoniaque.	28	**30**	108 [2]	46	**45**	100	58	**51**	67

[1] D'après J.-H. VOGEL, *Verwertung der städtlichen Abfallstoffe*, S. 311. — [2] Augmentation. — [3] Moyenne de cinq essais (parmi lesquels les deux ci-dessus). — [4] Moyenne de trois essais. — [5] Calculé par l'auteur, d'après les trois valeurs données par J.-H. VOGEL.

Eaux d'égout épurées par le procédé RÖCKNER-ROTHE (

(Les analyses ont été faites par B. PROSKAUER et E. NOCHT pour l'Institut expériment

ORIGINE. (Milligrammes par litre.)	NON DÉCANTÉES.					
	Résidu d'évaporation.	Résidu de calcination.	Perte à la calcination.	Chaux.	Azote total.	Azote ammoniacal.
A. 1.	1,982	1,389	593	74	221	—
2.	4,698	3,144	1,554	656	224	88
3.	—	—	—	—	—	—
4.	—	—	—	—	—	—
5.	—	—	—	—	—	—
B.	2,989	1,652	1,337	91	262	176
I*a*	5,590	2,334	3,256	190	355	78
II	11,150	7,830	3,320	1,451	348	147
III	—	—	—	—	—	—
IV	—	—	—	—	—	—
V.	—	—	—	—	—	—
VI	—	—	—	—	—	—

Les échantillons 1, I et I*a* sont des eaux brutes; I fut pris au commencement du puisage, I*a* à la fin.

2 et II sont des eaux traitées par des produits chimiques.

[1] *Zeitschrift für Hygiene*, Bd X, 1891, S. 111.

rification par la chaux et les sels d'alumine.

Potsdam et sur des échantillons pris (A) le 30 octobre et (B) le 4 décembre 1889.)

DÉCANTÉES.							NOMBRE DE GERMES.
Résidu d'évaporation.	Résidu de calcination.	Perte à la calcination.	Chaux.	Azote total.	Azote ammoniacal.	KMnO4.	
1.839	1,307	531	62	204	110.3	414	257,000,000
1,867	1,494	373	177	196	82.9	364	340,000
1.586	**1,196**	**389**	**105**	**196**	**92.4**	**251**	**3,000**
240	174	66	30	5	0.3	26	3,000
252	190	67	32	4	Trace.	21	1,500
2,202	1,539	663	69	225	163.5	1,063	160,000,000
2,271	1,452	819	180	262	66 0	975	108,000,000
3,402	2.963	438	1,065	173	141.4	605	577,000 à 117,000
1,731	**1,402**	**328**	**188**	**186**	**124.8**	**454**	**4,450**
204	159	45	45	9	0.6	46	7,000
201	166	35	45	8	0.6	45	6,500
202	160	42	49	9	0.6	47	188

3 et III, eaux clarifiées avant l'entrée dans le Havel.
4 et IV, eaux du Havel, prises à 10 mètres en aval de la sortie d'écoulement
5 et V, eaux du Havel, au milieu de la rivière dans le flux d'eau résiduaire.
VI, eaux du Havel, prises à 100 mètres en amont de l'entrée des eaux résiduaires, au milieu de la rivière.

Eaux d'égout épurées par le procédé NAHNSEN-MÜLLER; précipitation par un lait de chaux, sulfate d'alumine et acide silicique soluble (argile ou résidu de la fabrication de l'alun).

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	DORTMUND [1]		OTTENSEN [2]		HALLE [3]			
	Non épurée.	Épurée.	Non épurée.	Épurée.	Non épurée.		Épurée.	
					a.	*b.*	*a.*	*b.*
Matières en suspension	470	**82,0**	661	**19**	482	339	—	—
dont : organiques	249	**39,0**	442	trace.	305	223	—	—
azote	12	**0,3**	24	0	—	—	—	—
Résidu sec soluble	851	**986,0**	1,817	**1,675**	1,567	1,552	**1,749**	**1,573**
dont matière organique	301	**303,0**	367	**471**	403	315	**225**	**340**
Azote organique	44	**37,0**	21	**20**	96	45	**63**	**46**
Azote ammoniacal			48	**42**				
Chaux	132	**227,0**	147	**388**	212	221	**395**	**311**
Acide phosphorique	11	trace.	23	**1**	28	28	**10**	**11**
Hydrogène sulfuré	—	—	—	—	4	3	**0**	**0**

[1] Moyenne de neuf échantillons, d'après J. KÖNIG. — [2] Moyenne de trois essais, d'après J. KÖNIG. — [3] D'après BR. DRENCKMANN, *a.* Moyenne de douze essais, avec contenu des lieux d'aisances; *b.* Moyenne de trois essais, sans ce contenu.

Eaux d'égout traitées par le procédé Röckner-Rothe, combiné avec le procédé au charbon de P. Degener, c'est-à-dire clarification après addition de charbon poudre de tourbe ou de lignite et de sulfate de fer. — Par exception, on a, en outre, clarifié par la chaux, ce qu'on ne fait plus aujourd'hui.

a Recherche faite par une commission de la Société allemande d'agriculture sur une question mise au concours pour l'Exposition de Cologne de 1895.

b Recherche de B. Proskauer et M. Elsner, le 25 mars 1898: Clarification avec 1 kilogramme de charbon et 0kgr,17 de sulfate de fer par mètre cube et par un temps pluvieux.

Les deux analyses se rapportent aux eaux d'égout de Potsdam.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eaux non épurées.		Eaux épurées.		Traitées ensuite par de la chaux.
	a [1].	*b*.	*a* [2].	*b*.	*a*.
Matière sèche	1,249	1,210	1,520	1.445	1,654
Matières organiques .	352	422	197	285	178
Azote total	215	98	132	84	118
Azote ammoniacal . .	111	70	111	74	97
Acide phosphorique .	28	—	4	—	0

D'après les calculs de la commission, la diminution des matières organiques par l'emploi du procédé au charbon est de 79.8 °/₀, et celle de l'azote total de 38.3 °/₀. La clarification subséquente n'avait d'autre effet que de diminuer la quantité d'azote ammoniacal, en le faisant s'échapper dans l'atmosphère.

[1] Analysées à Berlin. Le chiffre de l'azote total est une moyenne sur les analyses de STUTZER, de Bonn, de PFEIFFER, d'Iéna, et de HAEFCKE, de Berlin.

[2] Moyennes des analyses des trois laboratoires cités. Idem pour la colonne suivante *a*.

Le système au ferrozone-polarite. Procédé à la pierre bleue de Hempel. — Épuration des eaux d'égout par clarification sans chaux au moyen de 60 °/₀ de sulfate d'alumine (Hendon), mélangé avec 40 °/₀ de sels ferriques. L'eau clarifiée est alors filtrée sur un filtre de sable et de polarite.

Pour Hendon seul, on a des chiffres relatifs aux eaux non épurées.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	EAUX D'ÉGOUT DE					MOYENNE [1].
	HENDON.			ACTON.	ROYTON.	
	Non épurées.	Épurées.	Épurées.	Épurées.	Épurées.	
Résidu d'évaporation.	6,740	945	—	—	—	—
Résidu de calcination.	2,810	780	—	—	—	—
Perte à la calcination.	3,930	165	—	—	—	—
Azote total	950	60	35	19	37	30

Röchling nous renseigne sur la composition des matières filtrantes spéciales, la polarite et le ferrozone [2] :

FERROZONE.	°/₀
Sulfate de fer anhydre . . .	24.4
Sulfate d'alumine anhydre. .	3.2
Autres substances non déterminées.	7.7
Carbone	0.8
Matières insolubles dans l'eau.	43.1
Eau	20.8

POLARITE.	°/₀
Oxyde de fer magnétique. .	19.2
Oxyde ferrique.	53.9
Protoxyde de fer.	7.2
Chaux.	1.4
Terre siliceuse.	15.1
Carbone.	1.8
Eau	1.4

Ces matières sont des masses gris noir, poreuses, — comme la pierre bleue de Hempel qui leur est analogue, — permettant à l'eau de passer facilement par les pores.

[1] Tirée des trois derniers résultats en azote. Détermination de J.-H. VOGEL, sans indication du moment où l'on a pris l'échantillon. Les deux premiers échantillons de Hendon furent pris sur l'indication de J.-H. VOGEL en mai 1893 et analysés par TH. PFEIFFER, d'Iéna.

[2] *Gesundheitsingenieur*, 1892, nº 18.

Eaux d'égout d'Amsterdam aspirées par le procédé LIERNUR *à l'usine d'épuration, clarifiées par la chaux et purifiées ensuite par distillation de l'ammoniaque de la solution limpide, d'après le procédé* FELDMANN. *Echantillons pris les 26 et 27 juillet 1892.*

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	EAUX D'ÉGOUT [1]. — LIERNUR.			LES MÊMES ÉPURÉES [2].
	Maximum.	Minimum.	Moyenne.	
Matière sèche	40,230	11.580	25,782	**7,110**
Cendres	13,190	6,350	9.738	**5,290**
Matière organique	27,040	5,230	16.014	**1.820**
Azote total	4,040	2,670	3.482	**128**
Azote organique	1,940	520	1,372	**93**
Azote ammoniacal	2,280	1,920	2,110	**35**
Potasse	2,420	1,310	1,872	**1,200**
Chaux	5,410	880	2,835	**605**
Acide phosphorique	2,980	630	1,750	Traces.

[1] D'après quatre analyses. Moyenne calculée d'après l'original. J.-H. VOGEL, *Verwertung städtischer Abfallstoffe*, S. 406.

[2] Moyenne de deux analyses d'eaux des appareils de FELDMANN, *Ibid.*

Eaux d'égout et eaux de drainage [1].

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Eaux d'égout de Berlin, de la Vanne. 2 janvier 1893.	Eaux de drainage d'Osdorf.			Eaux de Breslau[3]	
		Drainage. 9 juin 1892.	Eaux de plate-bande.	Eaux de prairie.	Eaux d'égout.	Eaux de drainage.
			Moyenne [2].			
Résidu sec	1,333	**1.134**	**1.037**	**1,087**	1.093	**547**
Résidu de calcination	958	**1,024**	**892**	**957**	605	**454**
Perte à la calcination	375	**110**	**142**	**128**	488	**93**
Ammoniaque	210	**10**	**5**	**5**	91	**3**
Acide nitreux	—	**6**	**10**	**5**	—	—
Acide nitrique	—	**111**	**155**	**124**	—	**17**
Acide phosphorique	36	**3**	**17**	**3**	—	—
Chlore	413	**251**	**238**	**269**	115	**108**
$KMnO^4$ employé	75	**4.5**	**4.4**	**4.9**	18.7	**2.7**

[1] J.-H. Vogel, *Die Verwertung der städtischen Abfallstoffe*, S. 284. Analyses de E. Salkowsky, de Berlin, et B. Fischer, de Breslau.

[2] Moyenne de trois analyses. Eaux puisées les 15 juin, 14 juillet, 15 octobre, 28 octobre, 1er novembre, 1er décembre 1892.

[3] Moyenne de douze analyses d'eaux d'égoût et de drainage prises dans les fossés principaux tous les mois depuis le 11 avril 1893 jusqu'au 15 mars 1894. Les données relatives aux constituants qui n'ont pas été déterminés dans les eaux de Berlin ont été laissées de côté, parce qu'elles n'étaient ici d'aucune utilité.

Procédé de V. Schweder.

MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Laboratoire de recherches de Gross-Lichterfeld.			Landeck S.-O.		Rotherstift.	Flinsberg.
	Eau d'égout moyenne.	Eau de drainage [2]	Eau de l'étang à poissons.	Eau d'égout brute.	Épurée.	— Épurée.	— Épurée.
Jour de la prise d'échantillon.	16 juillet 1898.	17 juillet 1898.	17 juillet 1898.	3 octobre 1898.	3 octobre 1898	6 mai 1899.	23 septembre 1899.
Substance sèche totale	6,245	1,168	1,115	745	930	826	218
dont organique	3,305	512	505	275 [2]	470	192	68 [2]
Azote organique	24	—	—	10	0,9	0,2	0,05
» ammoniacal	62	0	0	113	6	8	0,1
» nitrique	7	66	59	11	64	42	34
Chaux	550	285	105	120	215	184	175
Acide phosphorique	52	0	0	—	—	—	—

[1] D'après V. Schweder, *Die Gross-Lichterfelder Versuchsanlage zur Reinigung städtischer Abwässer*, Leipzig, 1899 — Les chiffres pour Gross-Lichterfeld et Landeck sont dus à J. König, de Munster; ceux relatifs au Rotherstift et à Flinsberg sont dus à O. Kröhnke, de Hambourg. Les analyses ont été faites à Munster et à Hambourg, c'est-à-dire au moins deux ou trois jours après la prise d'échantillon! Il est évident que ces eaux putrescibles doivent être examinées de suite ou du moins quelques heures après la prise, ou doivent être conservées avant l'envoi, si l'on veut s'en servir pour juger la qualité d'un procédé d'épuration. On sait qu'en employant des moyens de conservation, on rend impossibles plusieurs déterminations usuelles; mais ne vaut-il pas mieux ne faire aucune recherche que d'en faire qu'on sait fausses d'avance? — Il semble presque incroyable que J. König, dans une lettre du 29 juillet 1898, destinée à paraître dans l'ouvrage de Schweder, écrive : « Malheureusement, l'échantillon moyen d'eau d'égout était presque complètement perdu; il faudrait, à l'avenir, consolider la fermeture des bouteilles renfermant les eaux d'égout brutes et décomposées, parce que la fermentation active arrache facilement les bouchons. » Il n'eût plus manqué que dans de pareilles eaux on ne fît la numération des microbes! — Berlin n'est-il pas assez près de Lichterfeld? Il y a à Berlin des chimistes en quantité, de sorte que le grand désordre occasionné par cette expédition aurait pu être évité.

[2] Substance organique *dissoute*, exclusivement.

Habitations renfermant de nombreuses personnes. Lieux d'aisances publics. — Il semble logique de ranger dans une catégorie spéciale les immondices provenant de ces sources de pollution pour nos rivières, et de ne pas les confondre avec celles qui résultent du nettoyage des villes. Bien que leur composition ne diffère guère de celle des eaux du nettoyage des villes, nous rencontrons ici, en ce qui regarde la conservation et le repeuplement de nos rivières, un nouveau facteur que nous n'avions pas encore signalé : *les moyens de désinfection.*

Dans les *casernes*, les *écoles*, les *hôpitaux* et autres établissements analogues, où un grand nombre de personnes sont réunies pour une période plus ou moins longue, de même dans les *grandes écuries*, que ce soient des écuries d'hôtelleries ou des étables permanentes, destinées à de grands troupeaux, une maladie infectieuse attaquant quelques individus peut s'étendre au reste de la communauté. Pour combattre ce danger, la désinfection des déjections et celle des établissements même s'impose. Si les maladies infectieuses ne sont pas, que nous sachions, particulièrement inquiétantes pour la santé des poissons, il n'en est pas de même des désinfectants, qui deviennent très dangereux lorsqu'ils sont mélangés en excès à nos cours d'eau, excès qu'on atteint malheureusement très vite.

On emploie comme désinfectants le chlore (acide hypochloreux, chlorure de chaux), le phénol, les acides minéraux forts, les sels ferreux, la chaux, etc. La plupart de ces produits constituent des poisons dangereux pour les poissons.

Les *lieux d'aisances publics* dans les grandes villes, dans les gares, etc., sont dans le même cas. On les désinfecte souvent sans nécessité et, en temps d'épidémie, plus qu'il ne faut, au grand préjudice des cours d'eau et de leurs habitants, des poissons aussi bien que de la petite flore et de la petite faune.

On doit admettre que lorsque la vie et la santé des hommes et des animaux domestiques sont menacées, — rappelons pour ces derniers les maladies contagieuses qui atteignent la bouche et les ongles, le rouget du porc, — les intérêts des pêcheurs

n'interviennent qu'en seconde ligne. Cependant on devrait éviter d'employer plus de désinfectant qu'il n'en faut pour combattre le mal. Ce n'est que légitime.

Les urinoirs, où l'on désinfecte continuellement, sans raison sérieuse, de grandes surfaces, offrent, même avec de faibles quantités de phénol, un danger qu'on pourrait facilement éviter.

On peut en dire autant de la désinfection des ruisseaux des rues au moyen de saprol, mélange d'huiles minérales et d'acide phénique, et de la désinfection des stationnements de fiacres au moyen de phénate de chaux, etc...

Outre les désinfectants, il faut encore tenir compte ici des matières putrescibles, etc., que nous avons déjà appris à connaître à propos du nettoyage des rues.

Nous mentionnerons en outre :

Les abattoirs et les équarrissoirs. — Outre les déchets propres à ces établissements, c'est-à-dire les substances putrescibles, nous devons aussi porter notre attention sur les désinfectants. Ceux-ci, employés dans un but humanitaire bien compréhensible, le sont souvent en excès, et cet excès est entraîné avec les eaux sales.

L'extension de nos grandes villes a conduit à l'établissement d'abattoirs et de tueries dans l'intérêt de la propreté publique et pour éloigner les dangers qui résultent de l'abatage du bétail malade.

Dans nos abattoirs modernes, la propreté la plus rigoureuse doit être observée, mais la conséquence en est qu'on y lave avec des flots d'eau et que le sang et les ordures, l'eau de lavage des intestins, etc., sont lancés à la rivière.

Des renseignements sur la nature spéciale des eaux rési-

[1] *Ueber die hygienische Untersuchung des Kohlebreiverfahrens zur Reinigung von Abwässern (System Rothe-Degever)*, p. v du tiré à part du mémoire paru dans Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medizin, etc., 1898. XVI. Supplément.

duaires d'abattoirs (Potsdam) nous ont été fournis par les recherches que B. Proskauer exécuta les 15 et 16 mars 1898 [1], en vue d'essayer le système d'épuration au charbon sur ces eaux.

EAU D'ABATTOIR. — Milligrammes par litre.	Résidu total.	Perte à la calcination.	Azote.
15 mars 1898 :			
Avant la clarification. . . .	3,240	1,600	213
Après — —	1,620	130	85
16 mars 1898 :			
Avant la clarification. . . .	3,000	1,440	196
Après — —	2,000	141	78

Proskauer obtint une clarification irréprochable en employant 0gr,4 à 0gr,5 de sulfate ferrique et 1 gramme de charbon en poudre par litre.

La chaux seule — comme moyen d'épuration — donna une eau claire, mais jaune, de même le charbon avec la chaux. Avec le fer et la chaux, la clarification était imparfaite. Les eaux ne se laissaient pas clarifier par le fer seul ni par le charbon seul.

Les déchets grossiers sont généralement utilisés pour faire des mélanges d'engrais composés.

Dans les *établissements d'équarrissage*, les choses se passent de la même façon, mais cependant d'une façon beaucoup plus funeste que dans les abattoirs modernes. Il faut mentionner ici la préparation d'une foule de matières premières avec tous les inconvénients qu'entraînent ces sortes d'établissements (peaux, os, graisses, poils, etc.). Il faut cependant reconnaître

que, grâce à l'emploi des nouveaux appareils pour l'incinération des cadavres et grâce à la surveillance de la police, les dangers que présente, pour nos cours d'eau, l'action des eaux d'équarrissage ont beaucoup diminué.

Il convient pourtant de condamner et de combattre l'usage, encore en vigueur, qui consiste à *dépecer* et à *écorcher* les cadavres avant de les introduire dans les appareils. Lorsque la mort est due sans aucun doute à une infection, les cadavres entiers devraient être détruits tels quels.

LA RECHERCHE ET L'INDICATION DES MOYENS PRATIQUES DE PURIFIER LES EAUX A LA SORTIE DES FABRIQUES, POUR LES RENDRE COMPATIBLES AVEC LA VIE DES POISSONS, SANS COMPROMETTRE L'INDUSTRIE, EN COMBINANT LES RESSOURCES QUE PEUVENT OFFRIR LA CONSTRUCTION DE BASSINS DE DÉCANTATION, LE FILTRAGE, ENFIN L'EMPLOI DES AGENTS CHIMIQUES.

Telle est la question que nous avons maintenant à examiner. C'est, sans doute, la plus importante, tant au point de vue pratique qu'au point de vue technique.

Telle qu'elle est posée, elle est trop générale, à mon avis, et réclame plus qu'il n'est possible de donner.

Les nombreuses recherches auxquelles je me suis livré pour étudier l'action qu'exercent sur le poisson les eaux polluées, me donnent le droit d'affirmer que je porte un intérêt très vif à la pêche, à la pisciculture et à la conservation du poisson. Cependant, malgré cela ou peut-être à cause de cela, je ne puis me poser en puritain fanatique de l'eau.

Certes, désirer un *rendement intensif* des pêcheries, ou tout au moins chercher à éviter une notable diminution des revenus qu'elles peuvent fournir, est un désir bien légitime; bien légitime aussi est le désir de voir les eaux de nos rivières absolument pures et exemptes de tout résidu capable de causer, directement ou indirectement, préjudice à la pêche. Je ne méconnais nullement le droit à l'existence du poisson dans nos cours d'eau; je ne nie pas l'utilité, la nécessité même, qu'il y a de protéger la pisciculture, qui est importante pour l'alimentation de l'espèce humaine. Mais je ne puis admettre que, dans ce but, on méconnaisse les droits, non moins légitimes, de l'industrie. L'industrie a bien plus de valeur pour l'humanité que les quelques centaines de milliers de poissons que produit la pêche d'eau douce. En effet, si la pêche d'eau douce nourrit quelques milliers d'hommes, l'industrie en nourrit au moins autant de millions. C'est ainsi que, d'après le recensement du 5 juin 1882 [1], la pêcherie fluviale de l'Em-

[1] *Statistik des deutschen Reiches. Neue Folge,* Bd VI.

pire allemand occupe 14,263 personnes pour une population de 45,200,000 habitants, soit 3 personnes pour 10,000 habitants; tandis que les établissements industriels de tout l'Empire, la pêcherie y comprise, en nourrissent 7,300,000, c'est-à-dire 1,620 personnes pour 10,000 habitants.

Toutefois, comme nous ne devons ici tenir compte que des industries qui déversent dans les cours d'eau des eaux résiduaires, celles-là seules ayant des intérêts opposés à ceux de la pêcherie, le nombre précédent se réduit à 5,400,000 habitants. Ceci revient à dire que si nous prenons pour unité le nombre des pêcheurs (14,263), nous constatons que les industries qui fournissent des eaux résiduaires représentent, dans l'Empire allemand, 377,6 fois plus de travailleurs que la pêcherie.

H.-W. Jurisch [1] a cherché à traduire ces données statistiques en valeur pécuniaire. Partant de ce fait que *dans le royaume de Prusse*, le rendement des fermages de la pêche fluviale, qui s'exerce sur une surface d'environ 1,280,000 hectares, s'élève à 2 millions de marcs environ, il estime que le revenu total de la pêche fluviale de l'Empire allemand atteint au maximum 6 millions de marcs, ce qui correspond, pour le pêcheur, à un salaire journalier moyen de 1,15 marc. Se basant, d'autre part, sur d'autres données, Jurisch estime que le salaire journalier moyen de l'ouvrier industriel est de 2,50 marcs. Mais comme dans le nombre cité plus haut de 5,400,000 personnes que nourrissent les industries fournissant des eaux résiduaires sont compris les directeurs et employés d'administration, Jurisch pense qu'il y a lieu d'estimer le salaire journalier moyen à 3 marcs, ce qui porte le revenu annuel de ces industries à 5,896 millions ou, en chiffres ronds, à 6 milliards de marcs, tandis que la richesse nationale ne doit que 6 millions de marcs annuellement aux produits de la

[1] *Die Verunreinigung der Gewässer. Eine Denkschrift bearbeitet im Anfrage der Flusscommission des Vereins zur Wahrung der Interessen der chemischen Industrie Deutschlands*. Berlin, R. Gaertner, 1890.

pêcherie. L'industrie rapporte donc environ mille fois autant que la pêche fluviale [1].

Pour le présent aussi bien que pour l'avenir, il n'est pas de branche de l'activité humaine qui, plus que l'industrie, doive songer à se tenir constamment prête à combattre dans la lutte pour l'existence. Tout centime de dépense que l'on impose à l'industrie sans nécessité absolue, sans qu'il puisse en résulter un profit économique certain, est, à mon avis, un vol illégal, une surcharge, dont les conséquences pour l'économie politique du pays ne peuvent manquer de se produire et dont l'industrie doit se venger tôt ou tard. Vouloir exiger l'épuration des eaux résiduaires lorsque le quantum des impuretés qu'elles renferment est minime, et qu'elles ne se déversent que lentement dans les cours d'eau qui les reçoivent, serait non seulement illégitime, mais même inutile, d'autant plus qu'il n'est pas de procédé d'épuration artificielle qui puisse donner des résultats, même de loin, comparables à ceux que fournit l'autoépuration, c'est-à-dire l'épuration naturelle. Il n'est pas, en effet, de procédé d'épuration artificielle dont l'activité, le bon marché et la commodité soient comparables à l'autoépuration.

A mon avis, on ne doit exiger l'épuration des eaux industrielles que pour autant qu'il leur soit impossible de se diluer suffisamment dans la rivière qui les reçoit, que pour autant que le régime de ce cours d'eau ne soit pas assez important pour que ce degré de dilution soit obtenu.

A ce propos, je tiens essentiellement à n'être pas mal compris.

Ce que je viens de dire ne s'applique naturellement qu'à certaines substances nuisibles au poisson et non pas à toutes. Je n'entends m'opposer qu'au *désir illégitime* de faire épurer des résidus qu'il suffit de diluer pour empêcher de nuire. C'est

[1] Ces chiffres se rapportent à la situation qui existait vers 1890. Depuis cette époque, le rapport entre la valeur économique de la pêche fluviale et celle de l'industrie a certes beaucoup diminué encore.

ainsi que lorsque le cours d'eau qui les reçoit est suffisamment important, je considère comme pouvant être toléré le déversement d'eaux contenant des chlorures, des sulfates solubles et des carbonates alcalins et alcalino-terreux, c'est-à-dire les sels caractéristiques de l'eau de mer. Pour ces substances, la dilution suffit à les empêcher de nuire aux poissons, pour autant que l'on évite de déverser directement dans la rivière des solutions par trop concentrées, ce que l'on peut d'ailleurs facilement obtenir en les étendant, au préalable, dans une quantité d'eau suffisante pour que leur concentration ne dépasse pas 3 °/₀, ce qui est la teneur en sels de l'eau de mer.

J'estime, en outre, que l'on peut tolérer l'introduction, dans les cours d'eau, d'acides libres, pour autant que le régime du cours d'eau récepteur soit suffisant pour assurer l'innocuité de ces acides, en raison du coefficient naturel de saturation des acides de l'eau.

Sous le nom de *pouvoir naturel de saturation des acides*, j'entends le phénomène de saturation des acides par les bicarbonates de chaux et de magnésie que l'eau tient en solution. J'en indique le *coefficient* par le nombre qui exprime combien 1 litre d'eau peut saturer de milligrammes d'anhydride sulfurique (SO^3) libre. On a déterminé ce coefficient pour les eaux d'un grand nombre de cours d'eau allemands : toutes celles qui proviennent de roches calcaires ou qui coulent sur des sédiments calcaires ont un coefficient de saturation des acides de 40 à 100 et même davantage, ce qui signifie qu'elles peuvent, sans nuire, recevoir par litre d'eau 40 à 100 milligrammes d'anhydride sulfurique libre.

Ce phénomène est du ressort de la question de la dilution des eaux résiduaires et on doit le considérer comme un facteur de l'autoépuration chimique naturelle. On ne peut naturellement pas en conclure qu'il y a un degré de concentration fixe, général, sous lequel on doit admettre que les eaux résiduaires acides puissent être déversées dans les cours d'eau. Nous devons plutôt examiner, pour chaque cas spécial, le rapport existant entre la quantité d'eau du cours d'eau récepteur et celle

des eaux acides qui s'y déversent, et nous devons avant tout nous efforcer de réaliser, par un moyen convenable, le mélange aussi prompt que possible de l'eau résiduaire avec le cours d'eau récepteur, afin d'assurer l'innocuité de l'eau résiduaire.

De même, nous pourrions aussi, dans certaines circonstances, tolérer l'arrivée de sels métalliques. Lorsqu'une industrie rejette de ces sels, il ne peut d'ailleurs s'agir que de minimes quantités, attendu qu'un établissement industriel bien géré se garde d'abandonner aux cours d'eau ce qu'il peut utiliser. Il n'est donc pas nécessaire de rechercher dans les eaux résiduaires les sels des métaux lourds ayant quelque valeur, tels les sels de mercure, d'argent, de cuivre, de plomb et même, jusqu'à un certain point, les sels de zinc. Ces sels se séparent d'ailleurs assez facilement par précipitation, et l'industrie, dans son propre intérêt, ne manque pas de le faire.

Par contre, l'industrie peut souvent encore aujourd'hui négliger de séparer les sels de fer et parfois même les sels de zinc, ou tout au moins elle peut ne pas le faire avec tout le soin que comportent les intérêts de son exploitation. Dans ce cas encore, l'autoépuration chimique naturelle nous vient en aide : les bicarbonates de chaux et de magnésie tenus en solution dans les eaux du cours d'eau récepteur précipitent les sels de fer et de zinc, et ces précipités ne nuisent pas essentiellement aux poissons.

Il n'en est pas de même pour les substances organiques. Nous devons éviter les fermentations qui s'accomplissent sous l'influence des bactéries. Par leurs phénomènes vitaux, ces organismes désoxygènent l'eau, ce qui a pour conséquence de compromettre directement la vie des poissons et celle de la faune qui leur sert de nourriture. Lorsque la dilution est très forte, quand la masse d'eau charriée par le cours d'eau récepteur est très considérable par rapport au flux de l'eau résiduaire qui s'y déverse, les substances organiques solubles peuvent ne causer aucun préjudice, en ce sens que, tout en servant de nourriture à la flore microscopique, elles peuvent ne pas réduire la teneur en oxygène à un minimum nuisible.

Mais alors les substances organiques insolubles, en suspension, constituent encore un danger réel, parce qu'elles se déposent dans des baies de nos rivières, où l'eau est tranquille, et qu'elles y forment des bancs où s'accomplissent, surtout en été, des phénomènes de fermentation et de putréfaction qui désoxygènent l'eau et la rendent nuisible.

Les industries qui rejettent dans les cours d'eau des eaux résiduaires de ce genre doivent absolument être contraintes à prévenir, autant que possible, la formation de ces dépôts organiques, en faisant subir à leurs eaux des clarifications préalables. Cette mesure s'impose surtout aux industries agricoles et au service du nettoiement des villes.

J'ai cru devoir insister sur ces considérations générales, afin de montrer que c'est à juste titre que l'industrie réclame le droit d'utiliser les cours d'eau publics pour y déverser ses eaux résiduaires, pour autant qu'il ne lui soit pas possible de les épurer et de les empêcher ainsi de porter préjudice aux cours d'eau. J'estime que l'on doit tolérer une souillure qui se rapproche de la limite de nocuité, sans que je conteste pourtant qu'il est extrêmement difficile de dire exactement quand la nocuité est réelle. Nous devons la déterminer, dans chaque cas spécial, non seulement au point de vue des intérêts de la pêche, mais encore au point de vue des qualités que l'hygiène moderne exige d'une eau devant servir à l'homme comme eau potable et comme eau d'usage, et, enfin, au point de vue de l'industrie elle-même, qui est spécialement intéressée à disposer d'eau pure.

Dans chaque cas spécial, nous devons chercher à décider s'il est réellement nécessaire que les eaux résiduaires soient épurées avant d'être déversées à la rivière, ou si nous pouvons les considérer comme inoffensives. Ce sont des mesures que nous ne devons surtout pas méconnaître quand il est question de fonder de nouvelles usines appelées à rejeter des eaux sales. Par contre, pour ce qui regarde les établissements industriels existants, il faut examiner avec prudence et bienveillance s'il est légitime d'exiger que les cours d'eau soient épurés; il faut

établir un parallèle entre la valeur de la pêche et les exigences de l'hygiène d'une part, la valeur productive de ces établissements industriels d'autre part. Il faut se demander si l'industrie, même nuisible, ne mérite pas certains ménagements, auquel cas, eu égard surtout à l'insuffisance de nos moyens techniques d'épuration, il ne reste qu'à « sacrifier » le cours d'eau sur une certaine étendue, en indemnisant, dans une juste mesure, les intéressés qui ont subi des préjudices à la suite de la pollution de l'eau. Cependant il faut que l'industrie fasse tout ce qui est en son pouvoir pour épurer ses eaux résiduaires. L'autoépuration doit faire le reste.

Je décrirai maintenant les moyens dont nous disposons pour combattre la souillure des eaux.

Mesures qui s'imposent d'elles-mêmes. — Le meilleur moyen de maintenir purs nos cours d'eau est de ne pas les souiller.

C'est avec intention que je commence ce chapitre par cette phrase qui semble triviale et paradoxale.

Si nous étions en mesure de porter remède à toute pollution de nos cours d'eau, ce qui, sans toucher aux intérêts des riverains ni à l'existence de leurs industries, s'obtiendrait par un peu de bonne volonté et sans grands frais, les habitations et les établissements industriels n'enverraient dans les rivières qu'une fraction relativement minime des impuretés dont nous les chargeons actuellement.

Dans certains cas, les usines et les habitations ne sont reliées aux cours d'eau que par des rigoles insignifiantes, et les quantités d'eau qui y coulent sont minimes, comparées à celles que charrient les cours d'eau qui les reçoivent; elles sont même si minimes, qu'il ne peut être question de prétendre qu'elles puissent nuire, ni aux intérêts de la pêche ni aux intérêts de l'hygiène. Aussi quiconque songe à ce qui se passe, se console alors en disant que, personnellement, il ne cause certainement aucun préjudice.

Soit. Mais sur les rives de tout cours d'eau, il existe des centaines et des milliers de ces petites sources de déchets, et,

comme dit le proverbe : « Les petits ruisseaux font les grandes rivières ».

Chacune de ces fautes est *à peu près* sans action sur la pureté de ce cours d'eau ; cependant leur ensemble laisse manifestement des traces, bien qu'il faille reconnaître que, en raison de leur diversité, les eaux résiduaires réagissent souvent les unes sur les autres, c'est-à-dire que, dans certaines circonstances, une source de souillure peut atténuer ou supprimer même le préjudice causé par une autre.

Lorsque nous avons parlé des impuretés naturelles, qui n'existent dans nos cours d'eau qu'en proportions peu importantes, nous avons dit qu'en réalité cependant les eaux en charrient des quantités considérables. Rien ne s'oppose à nous faire admettre qu'il en est de même pour les petites sources.

Il serait à souhaiter que chacun contribuât à remédier à cette pollution produite sans mauvaise intention. Dans les écoles primaires, on devrait déjà apprendre aux enfants qu'il faut refréner les préjudices causés à nos cours d'eau : ce serait digne d'un peuple civilisé.

Nous avons supposé jusqu'ici que ces quantités, minimes en elles-mêmes, de substances rejetées dans nos cours d'eau étaient sans valeur. Ce n'est pourtant pas toujours le cas.

Dans ces derniers temps, on a commencé à utiliser les résidus, et cette voie nouvelle, dans laquelle on est entré, mérite d'être signalée. La mise en valeur de substances en apparence inutilisables est une conséquence de la lutte pour l'existence, qui oblige à apprécier la valeur de l'argent.

Rien n'est inutile; il faut seulement savoir recueillir et utiliser à son profit.

Il n'est pas douteux que bon nombre d'établissements industriels et autres, qui souillent nos rivières, pourraient s'abstenir d'y verser leurs déchets, sans en éprouver un préjudice appréciable. Dans beaucoup de cas même, les industries, qui seraient forcées de traiter leurs eaux résiduaires, pourraient en retirer d'importants profits. Ce serait le cas notamment pour les fermes et les exploitations agricoles, qui souvent laissent se

perdre inutilement des excréments et du fumier qui ont une grande valeur. Il en est encore de même dans les grands et les petits ménages · combien de choses perdues pourraient être utilisées ou, tout au moins, détruites sans inconvénient, pour éviter de leur voir causer ultérieurement des dommages! On devrait, plus qu'on ne le fait aujourd'hui, brûler dans les poêles des déchets inutilisables qui peuvent nuire. Une foule de résidus pourraient être séchés au foyer et serviraient ensuite de combustible.

Les industries chimiques se trouvent dans une situation analogue. Elles devraient analyser avec soin leurs eaux résiduaires, afin de voir si elles ne pourraient en récupérer certains déchets et en tirer profit. De même l'industrie textile, à l'aide des effilocheuses, produit une énorme quantité de poussières et de saletés lors de la préparation des matières premières, ainsi que lors de la remise en œuvre de matières déjà utilisées (industrie Shoddy). Dans la plupart des cas, ces saletés sont envoyées à la rivière quand la chose est possible. Dans le même ordre d'idées, nous mentionnerons encore les résidus des fabriques de coton, de toile et de velours, ainsi que ceux de l'industrie des fibres de coco. Citons encore les industries agricoles, d'autant plus que leurs résidus, qui sont souvent gaspillés, pourraient, en général, être aisément utilisés, dans l'expoitation même, comme aliment pour le bétail ou comme engrais. Nous pourrions multiplier ces exemples de gaspillages faits sans réflexion.

Il y aurait beaucoup encore à faire dans le but d'utiliser des déchets aujourd'hui sans valeur. On a d'ailleurs commencé à s'engager dans cette voie : nous signalerons les appareils modernes pour la dessiccation des drèches, des rognures et des pulpes; les appareils pour retenir les queues des betteraves dans les fabriques de sucre; les fabriques de briquettes de charbon et de sciure de bois; les fabriques de poudrette; les appareils pour la préparation des cadavres d'animaux et pour l'incinération des ordures ménagères.

Toutes ces tentatives, couronnées de succès d'ailleurs, faites

en vue d'utiliser des choses jusqu'à présent inutilisées, ont déjà profité beaucoup à nos cours d'eau.

Mais si nous attribuons une certaine importance à l'utilisation de déchets sans valeur ou de peu de valeur, cependant, dans certaines circonstances, il est bon de faire des restrictions à ce sujet. C'est que, en effet, il peut intervenir des intérêts plus puissants. Ce n'est guère le cas pour ce qui concerne les déchets industriels, mais bien quand il s'agit des ordures des grandes villes. Au désir d'utiliser ces immondices, qui ont une valeur en elles-mêmes et au point de vue économique, s'oppose l'obligation, pour les villes, de les éloigner de leur banlieue, sans tenir le moindre compte de leur valeur, uniquement dans l'intérêt du bien-être et de la santé des habitants.

La valeur économique doit être subordonnée à ces facteurs; car une population bien portante et, par conséquent, plus apte au travail aura vite gagné et au delà les valeurs perdues. Mais tout en faisant, à juste titre, des efforts pour éloigner leurs immondices, les grandes villes ne peuvent pourtant non plus méconnaître le devoir qu'elles ont de maintenir dans un état de salubrité les cours d'eau de leur région, de leur pays, dans l'intérêt général de la population. Elles doivent du moins faire tout ce qui est possible pour maintenir l'état de pureté des eaux. A notre avis, le nettoyage des villes et la salubrité des habitations constituent le seul facteur, vraiment nécessaire, devant lequel doit s'incliner le désir d'empêcher la pollution des rivières quand toutes les tentatives ont échoué, sous la réserve, bien entendu, de se conformer éventuellement aux mesures qu'imposeront les progrès de la science et de la technique.

Nous avons dit précédemment que la négligence ou l'indifférence des riverains constitue une faute que l'on pourrait éviter et qui a pour conséquence de souiller nos cours d'eau; nous avons ajouté que, tout en l'évitant, on pourrait tirer profit de l'utilisation de déchets en apparence inutilisables. Cependant nous avons reconnu que certaines circonstances peuvent rendre inévitable la pollution de nos cours d'eau

publics, et nous avons fait valoir la nécessité du nettoyage des villes, uniquement parce qu'elle est liée à la salubrité des habitations de l'homme.

D'une façon générale, nous ne pouvons reconnaître à l'industrie le même droit.

Actuellement, presque tout établissement industriel pourrait être déplacé sans qu'il en résulte un préjudice économique pour la généralité des habitants du pays; mais sa présence n'est pas indifférente au point de vue des intérêts locaux. Dans cet ordre d'idées, il peut même se faire que l'installation d'une nouvelle usine entraîne, pour la contrée, des inconvénients très graves.

M. von Behr, qui fut longtemps président de la *Deutscher Fischerei Verein*, prononçait un jour ces mots, qui ont été hautement approuvés : *Tout poisson doit être tenu dans l'eau qui lui convient!* Je dirai de même : *Toute fabrique doit être installée à l'endroit qui lui convient!*

Les industries minières et les usines métallurgiques qui y sont directement annexées sont naturellement liées à leur emplacement d'une façon aussi immuable que le nettoyage des villes. Nous ne pouvons déplacer les montagnes pas plus que les grandes villes. Beaucoup d'autres industries sont aussi liées à certaines contrées par leurs matières premières. Cependant maintes usines sont incontestablement établies sur le domaine dont a disposé son fondateur. Cette dernière circonstance surtout a souvent été funeste à l'établissement lui-même ainsi qu'à l'état dans lequel ses eaux résiduaires doivent abandonner l'usine, parce qu'il manque la place nécessaire pour établir des installations d'épuration. Une fois la fabrique établie, elle ne peut plus se déplacer. Quand il s'agit de faire des agrandissements qui paraissent nécessaires, on doit tenir compte de la situation existante et l'on néglige, en général, les installations pour l'épuration, d'autant mieux qu'elles semblent peu importantes aux yeux du fabricant. Les cours d'eau publics n'auront qu'à se comporter comme ils le voudront; à la rigueur, surtout s'il s'agit d'un cours d'eau privé, il reste, malheureusement,

la ressource de l'acheter ou de le prendre à bail, le propriétaire définitif ou temporaire se chargeant alors d'en souiller les eaux comme bon lui semble.

Aussi, si nous voulons veiller à conserver à nos cours d'eau leur salubrité, sommes-nous parfaitement autorisés à insister sur le fait que l'un des moyens les plus efficaces pour y arriver consiste à examiner minutieusement toutes les circonstances, quand un établissement industriel cherche à se fonder dans leur voisinage.

On devrait, en outre, exiger que toute industrie, toute usine, tout ménage éconduisit ses eaux, non par intermittence, mais en un courant continu, réparti sur toute la durée du travail ou, mieux encore, sur les vingt-quatre heures de la journée, après les avoir préalablement réunies dans des bassins collecteurs, pour le cas où elles ne sauraient être éloignées d'une autre façon et où l'on ne pourrait exiger qu'elles soient complètement épurées, leur quantité étant trop faible comparée au régime du cours d'eau qui les reçoit. En prenant ces précautions, on ne diminue pas la quantité absolue des impuretés, mais bien la probabilité de leur nocuité possible, attendu que ces écoulements continus réalisent une dilution régulière et amplement suffisante, surtout si l'on a soin de faciliter, par certains dispositifs, le mélange des eaux.

Lorsque les eaux nuisibles d'une industrie sont très concentrées, il faut veiller à les rendre moins nuisibles en les diluant suffisamment avant qu'elles sortent de la fabrique. Nous devons dire cependant qu'une série d'établissements industriels déversent des eaux résiduaires en quantité si considérable, qu'on peut bien désirer qu'elles soient diluées, mais qu'il est souvent impossible de le faire. Tel est le cas, par exemple, pour les eaux d'exhaure, les eaux d'extraction des mines, les eaux du lavage du charbon et, souvent aussi, pour les eaux vannes des fabriques de sucre et d'amidon.

Je rappellerai encore les difficultés qui s'opposent au mélange des eaux résiduaires avec les eaux de la rivière qui les

reçoit. C'est ainsi que, comme le montrent les chiffres du tableau de la page 248, on peut distinguer, sur une distance de plusieurs kilomètres, les impuretés déversées par une fabrique, bien établie même, dans un grand fleuve, lorsque ces eaux résiduaires sont très abondantes.

C'est pour ce motif que l'on ne saurait trop insister sur les dispositifs qui favorisent ou qui réalisent le mélange des eaux sales avec les eaux du cours d'eau récepteur. A cette catégorie appartiennent les petites digues et les barrages, ainsi que des dispositifs qui contrarient le cours des eaux qui se rendent à la rivière. C'est à ce même ordre d'installation que se rattachent encore la formation de baies artificielles, dans lesquelles on amène préalablement l'eau résiduaire; on y fait pénétrer ensuite de l'eau courante, que l'on a détournée d'un point situé en amont, et l'on obtient de la sorte une dilution partielle avant l'arrivée de l'eau résiduaire diluée dans le cours d'eau principal.

Tous ces dispositifs que nous venons d'énumérer offrent encore un autre avantage réel au point de vue de l'assainissement : ils fournissent de l'oxygène à l'eau résiduaire qui en est dépouillée. Avant de déverser l'eau sale, diluée si possible, on doit s'efforcer de favoriser cette oxygénation, lorsque les circonstances le permettent, au moyen de petites cascades, de déversoirs, de batardeaux, de remous; on peut aussi recourir à des fagots de menu bois ou à des procédés plus compliqués : roues battant l'eau, etc.

Dans l'intérêt de la conservation du fretin, qui vit principalement parmi les végétaux des rives et qui se nourrit d'animaux qui vivent sur les rives, on devrait aussi protéger ces dernières contre les immenses masses d'eaux résiduaires de nos grandes industries et spécialement de l'industrie chimique. Les berges en pierre empêchent pour ainsi dire toute vie végétale ou animale, et elles sont souvent plus nuisibles que des eaux résiduaires intoxiquées.

Dans ce but, il serait à désirer qu'en général, chaque fois que c'est possible, les eaux sales fussent amenées, au moyen

de tuyaux, jusqu'au milieu du fleuve ou, du moins pour les fleuves très larges, à une distance de 30 à 40 mètres du rivage, ces tuyaux débouchant au fond de l'eau [1].

De cette façon, on activerait le mélange et la dilution et, par conséquent, on rendrait inoffensives les eaux industrielles.

Malheureusement nous ne connaissons pas grand'chose de ce qui se passe dans ces mélanges, et les figures qu'on en a publiées sont pour ainsi dire nulles. Il est pourtant très important d'élucider cette question, car on ne peut juger de l'effet nuisible que produit sur les poissons la concentration d'une eau résiduaire, que si l'on connaît l'influence de la vitesse du courant, de la profondeur de l'eau et du régime du cours d'eau récepteur, et si l'on tient compte, d'autre part, de la température de l'eau résiduaire, de son poids spécifique et de sa composition chimique, tout au moins de ses constituants principaux. Il est naturellement inadmissible qu'on s'occupe immédiatement de l'ensemble de l'eau de dilution du cours d'eau récepteur.

[1] En Allemagne, les autorités sont souvent d'avis que cette disposition des conduites rend la surveillance difficile et empêche l'agent commis à la surveillance de constater des défauts dans la marche des opérations lorsque les eaux résiduaires s'écoulent. Cette objection ne se justifie que quand l'inspection n'est pas faite régulièrement et soigneusement. Si le surveillant est tenu à prélever, une à trois fois par jour, des échantillons dans l'ouverture réservée au contrôle et par laquelle doivent passer les eaux résiduaires avant d'entrer dans la conduite d'écoulement, et s'il les examine en se conformant à l'instruction qui lui est donnée et qui lui indique sur quoi doit porter son attention, l'objection que nous signalions plus haut n'a plus sa raison d'être. Cette instruction peut aisément être faite, pour les eaux de chaque fabrique, par un homme réellement compétent. On remettra, en outre, à l'agent préposé à la surveillance, un petit appareil, qu'il devra tenir sous clef dans un endroit dont il aura seul l'accès. Le maniement de cet appareil peut se faire presque automatiquement et n'exige ni connaissances spéciales, ni une grande intelligence. Toutefois l'auteur de l'instruction doit bien connaître la fabrication en question.

Je suis actuellement occupé à des recherches destinées à résoudre expérimentalement cette question difficile ; elles ne sont pas encore achevées.

Je me permettrai cependant de donner ici deux figures empruntées à ce travail, en raison même de l'importance que présente cette question, que personne n'a encore abordée jusqu'à présent.

Les figures 1 et 2 montrent respectivement le cône et un demi-cône de mélange, formés par une eau colorée, dont le poids spécifique est de 1 environ et qui est introduite dans de l'eau coulant doucement et lentement. Le demi-cône pourrait se produire, plus ou moins déplacé et altéré, partout où l'on fait arriver des eaux qui s'écoulent lentement, au fond d'un cours d'eau [1].

Ce qui me semble particulièrement intéressant, c'est l'analogie qui existe entre la figure 1 et celle que présentent les gaz qui se dégagent d'une cheminée dans l'air ambiant.

Pour empêcher les eaux résiduaires de polluer nos cours d'eau, on recommande spécialement de les laisser infiltrer dans la nappe souterraine. Cette tendance paraît pourtant devoir inspirer des craintes, surtout quand il s'agit de grandes masses d'eau sale. On sait qu'il existe des courants souterrains, qui amènent alors ces eaux résiduaires en des endroits où elles sont pour le moins superflues. Dans certaines circonstances, elles peuvent y devenir directement nuisibles, non pas au point de vue de la pêche, mais dans l'intérêt général de l'hygiène, par exemple en contaminant les puits.

[1] Je renvoie à la publication qui a paru, sur ce sujet, dans *Chemischen Industrie*. Afin de permettre de comprendre ces figures, je dirai que le photogramme (fig. 1) représente un tube de verre de 15 centimètres de diamètre, dans lequel de l'eau coule de droite à gauche. Au milieu de ce large tube se trouve un autre tube, fin ; il amène l'eau colorée (solution de rouge-Congo), qui se mélange avec l'eau en circulation. La figure 2 représente le même tube, dans lequel on a introduit des plaques de verre, afin de constituer jusqu'à un certain point le fond uni d'un cours d'eau. Nous ne voyons se former ici qu'un demi-cône de mélange.



FIG. 1. — Cône de mélange.



Fig. 2. — Demi-cône de mélange.

Les mesures dont nous avons parlé jusqu'ici, nous les avons qualifiées de *mesures que l'on doit prendre naturellement*. Nous n'avons pu nous empêcher d'insister parce que, *bien qu'elles s'expliquent d'elles-mêmes*, il n'est que trop souvent de règle de les négliger.

PROCÉDÉS MÉCANIQUES. DISPOSITIFS POUR LA CLARIFICATION. — Quand nous avons parlé des impuretés naturelles des eaux, nous avons distingué entre les substances *solubles* et les substances *insolubles*. Nous avons vu que c'est à ces dernières que nous devons attribuer la coloration des eaux. Nous devons ajouter que les immondices contiennent aussi des composés colorés solubles. Ils n'ont généralement, il est vrai, aucune importance au point de vue de la pêche; mais souvent ils contrarient les riverains situés en aval, en diminuant la qualité de l'eau.

Pour se débarrasser des substances insolubles, il faut les laisser se séparer tout naturellement par clarification mécanique. Les matières en suspension se déposent au fond de l'eau quand leur poids spécifique le permet, et d'autant plus facilement que leur densité est plus élevée, leur volume plus considérable et le mouvement de l'eau plus faible.

Il y a lieu de distinguer entre les sédiments *inorganiques* et les sédiments *organiques*. Il n'est pas difficile d'obtenir le dépôt spontané des substances inorganiques denses.

Souvent, au contraire, on obtient difficilement la clarification mécanique, la sédimentation naturelle des substances organiques insolubles, qui généralement sont très finement divisées. On ne parvient d'habitude pas à les faire se déposer spontanément et, même quand leur poids spécifique et la dimension de leurs grains leur permettent de se déposer, il ne tarde pas à se produire dans ces dépôts des décompositions et des processus vitaux, qui s'accomplissent soit dans ces substances organiques insolubles elles-mêmes, soit dans des matières organiques solubles, qui s'y trouvent mêlées et qui

servent de milieu nutritif à tout un monde de micro-organismes. Ces processus mettent en liberté des produits gazeux (acide carbonique, gaz des marais, acide sulfhydrique), qui adhèrent mécaniquement aux fines particules insolubles, les font monter à la surface et s'opposent ainsi à la sédimentation.

Nous pouvons nous prémunir contre cet inconvénient et provoquer la sédimentation de ces fines particules en suspension, *en augmentant artificiellement la densité* de ces corps légers en suspension, c'est-à-dire en ajoutant aux eaux résiduaires des substances minérales, telles que du limon, de l'argile ou du lait de chaux. Ces matières plus lourdes entraînent mécaniquement les corps légers au fond de l'eau, et en même temps elles empêchent les micro-organismes de se développer en très grand nombre. D'un autre côté, nous pouvons enrayer la multiplication des micro-organismes en mélangeant aux eaux résiduaires des substances qui tuent les bactéries. Nous aurons l'occasion de revenir sur ces phénomènes quand nous parlerons de l'épuration chimique et biologique.

En général, une eau trouble est considérée comme souillée; c'est pourquoi nous devons veiller à retenir les matières qui provoquent le trouble.

On y parvient surtout à l'aide d'*installations de clarification*, qui consistent essentiellement en des bassins, des réservoirs, des étangs appropriés, dans lesquels on abondonne les eaux résiduaires au repos, pour permettre la sédimentation. Quand il existe un rapport convenable entre la masse des eaux à clarifier et la surface de sédimentation de ces appareils, l'eau, après un certain temps, en sort limpide et claire pour se déverser dans le cours d'eau public.

On ne peut indiquer de règles générales relatives au rapport qui doit exister entre la masse d'eau à clarifier et la surface de sédimentation. On doit calculer les dimensions des installations de clarification d'après le temps qui est nécessaire pour que l'eau résiduaire se clarifie spontanément; cette durée de

séjour de l'eau dans l'appareil dépend naturellement du poids spécifique des matières en suspension.

La figure 3 représente l'installation de clarification la plus simple.

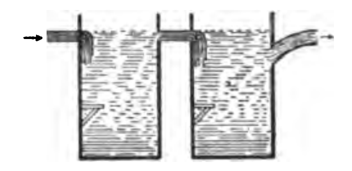


Fig. 3.

Ce sont deux caisses en bois. Les flèches indiquent, d'une part, l'entrée de l'eau résiduaire et, d'autre part, sa sortie après qu'elle a abandonné ses matières en suspension. Les deux petites consoles, à gauche, servent à empêcher le courant d'atteindre les parties profondes, où s'opère le dépôt; elles empêchent l'agitation de ce dernier. L'eau s'écoule de la caisse de droite, en dessous du niveau de la surface, afin d'empêcher les substances légères qui surnagent de passer avec l'eau clarifiée.

Si deux caisses semblables ne suffisent pas, — l'expérience prouve que c'est généralement le cas, — on intercale encore un ou deux réservoirs. Afin de pouvoir procéder au nettoyage des caisses, qui doit se faire de temps en temps, sans troubler l'installation, il est utile de disposer, l'une à côté de l'autre, deux rangées de caisses, qui peuvent fonctionner alternativement. Pour les petites industries qui fournissent relativement peu d'eau résiduaire, cette installation donne de très bons résultats.

Les grands établissements industriels qui débitent des quantités considérables d'eau résiduaire nécessitent l'emploi de fosses en maçonnerie. La figure 4 représente un dispositif que l'on peut souvent utiliser (voir ci-après, page 410).

Ces bassins, qui dans certaines circonstances exigent beaucoup de place, peuvent être remplacés par des réservoirs profonds, auxquels on a donné des formes variables, comme le

montrent les figures 9 à 13. Étant donné que dans ces puits profonds le principe des filtres flottants intervient, nous n'insisterons pas pour le moment sur ces dispositifs. Nous y reviendrons plus loin.

L'expérience nous a fait connaître divers artifices qui activent la sédimentation. Elle nous a appris que, surtout quand il s'agit du dépôt de corps très fins, et spécialement de substances

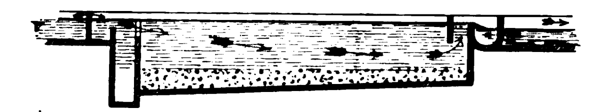


Fig. 4.

Les corps étrangers grossiers ou denses, qui se trouvent accidentellement dans l'eau résiduaire, se séparent dans le dépotoir — entre les deux premières flèches de gauche —; la cloison — placée au-dessus de l'avant-dernière flèche de droite — empêche la sortie des éléments légers qui surnagent. Le fond est plus ou moins incliné, — vers la gauche dans le cas présent, — parce que, selon toute prévision, la sédimentation est plus intense à l'entrée. C'est surtout quand on vide la fosse pour la débarrasser de son dépôt que cette inclinaison du fond rend des services réels. En effet, si la fosse est carrée, sa partie la plus profonde se trouve précisément dans un des angles, le fond étant aussi incliné dans l'autre sens, c'est-à-dire du côté qui nous regarde. Ce que nous avons dit, à propos de l'appareil précédent, concernant le nombre des bassins et la nécessité de la vidange, s'applique naturellement aussi à l'installation qui nous occupe en ce moment.

organiques, les bassins de décantation très étendus sont souvent moins actifs qu'une série de petits bassins, ce qui a l'avantage encore de faire gagner de la place. De plus, nous devons veiller à ce qu'il y ait dans ces bassins des endroits où la vitesse du courant soit amoindrie, de façon que pendant le passage des eaux résiduaires, des endroits relativement tranquilles favorisent le dépôt. Le choc que produit le changement de direction favorise également la sédimentation. En outre, on a

pu constater qu'il est avantageux que les eaux séjournent longtemps dans les bassins de décantation. Nous tirons profit de ces observations en construisant, dans les grands réservoirs, des espèces de digues qui allongent le trajet suivi par les eaux qui y passent. Ces digues et cloisons offrent encore un autre avantage : on peut les disposer de façon que l'eau, provenant de la surface d'un compartiment de sédimentation, soit contrainte à passer au fond du compartiment suivant et ainsi de suite alternativement. Ces artifices ont pour effet de créer, dans les diverses couches de l'eau qui passe, des différences de vitesse d'écoulement, des états de repos plus ou moins marqués.

La figure 29 représente un dispositif de ce genre, permettant, au moyen de digues (K), d'allonger le chemin parcouru par l'eau. A l'aide de vannes, on peut mettre hors de service la moitié droite ou la moitié gauche de l'installation, quand il s'agit de la nettoyer.

On peut encore avantageusement augmenter le chemin à parcourir dans les puits profonds et dans les cylindres de clarification, comme le montre la figure 5, d'après Dervaux.

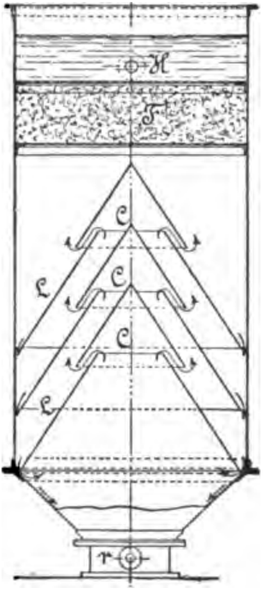


Fig. 5.

En rencontrant les cloisons (C) en parasols ou en cônes, les matières en suspension se déposent plus rapidement; d'autre part, les substances déposées glissent à la surface des cônes [1]; enfin, l'eau est encore filtrée (F).

[1] Nous devons à l'éditeur Julius Springer, ce cliché, qui est emprunté à l'ouvrage de J. König : *Verunreinigung der Gewässer*. C'est à son obligeance que nous devons aussi les figures 7 et 10. Nous profitons de l'occasion pour lui adresser nos remerciements.

Quand les eaux résiduaires contiennent des matières organiques, nous devons veiller à ce qu'il ne s'y accomplisse pas de processus biologiques; on les empêche de se produire en ajoutant des substances germicides. Ces phénomènes de putréfaction peuvent facilement se produire dans les grands bassins qui fonctionnent continuellement. Nous donnerons, sur ce sujet, de plus amples détails quand nous nous occuperons de l'épuration chimique. Nous ferons seulement remarquer ici que, dans certains cas, par exemple dans les sucreries, indépendamment d'un ou deux bassins destinés à la décantation des matières terreuses, il convient d'installer un grand nombre de petits réservoirs, dans lesquels les souillures organiques suspectes puissent se déposer, plutôt que de n'employer qu'un petit nombre de bassins de sédimentation plus vastes. Ce système a l'avantage de permettre, en cas de besoin, d'intercaler de petits bassins ou de les mettre hors d'usage, afin d'en effectuer la vidange. C'est de cette façon que F. Hulwa, par exemple, a obtenu d'excellents résultats dans son installation modèle pour clarifier les eaux de la sucrerie de Strehlen. Dans aucun des petits bassins, les substances solides qui se sont déposées ne séjournent plus de deux jours. On les enlève alors et on nettoie le bassin, de sorte que les constituants de cette eau ne peuvent plus influencer le cours d'eau. Plus courte sera la durée pendant laquelle ces masses organiques sont exposées à subir des décompositions d'ordre chimique ou biologique, plus faible sera le danger de voir des matières organiques en suspension ou séparées artificiellement, se transformer en substances solubles, grâce à des phénomènes de décomposition. Dans ce dernier cas, ces substances sont enlevées par les eaux plus ou moins clarifiées qui s'écoulent sur elles, et elles passent ainsi dans les cours d'eau publics, comme nous ne le voyons que trop souvent dans les installations qui ont pour but l'épuration des eaux résiduaires des industries agricoles.

La technique doit s'efforcer surtout d'éloigner de l'installation d'épuration, le plus rapidement possible, les substances qui se sont déposées. Il est vrai que les matières résiduaires

d'origine inorganique ne réclament pas cette précaution ; mais, pour elles aussi, il arrive un moment où il faut vider les bassins de sédimentation, parce qu'ils se remplissent ; en d'autres termes, dans les installations qui fonctionnent continuellement, il faut un second système de clarification.

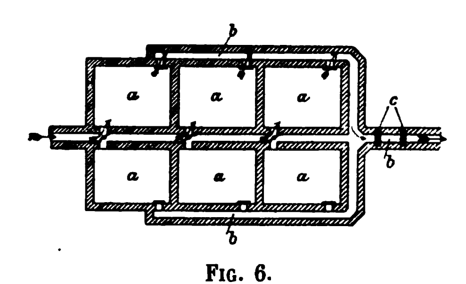


Fig. 6.

La figure 6, empruntée à l'installation de Fr. Hulwa, montre comment, à l'aide de vannes, on peut mettre hors de service des compartiments isolés, *a*. Dans certaines circonstances, on pourrait recommander de prolonger le fossé, *b*, autour de toute l'installation, afin de faciliter encore davantage la circulation libre. En *c*, on a figuré des vannes treillissées, qui constituent, au besoin, un dispositif permettant la filtration. Elles sont au nombre de deux, afin de ne pas compromettre temporairement le fonctionnement de l'installation quand il est nécessaire de nettoyer le treillis.

On a l'habitude de voûter les grands bassins de sédimentation dans les villes canalisées où l'on épure les eaux d'égout par voie chimique. En réalité, cette mesure a pour but d'éviter les influences désagréables des saisons, celles de l'hiver surtout ; mais elle est aussi édictée par des considérations hygiéniques et esthétiques. Nous reproduisons trois figures représentant les installations de clarification à Francfort-sur-le-Mein. Pour autant que ces figures doivent nous servir d'exemple ici, on les comprendra sans qu'il soit nécessaire d'en donner une description spéciale, ce qui d'ailleurs nous entraînerait trop

loin. Nous renvoyons à notre source [1] et nous nous bornerons à dire que chacun des bassins de sédimentation peut contenir 11 000 mètres cubes et que 4 à 5 000 mètres cubes y sont journellement soumis à la sédimentation, les eaux séjournant six heures dans les bassins.

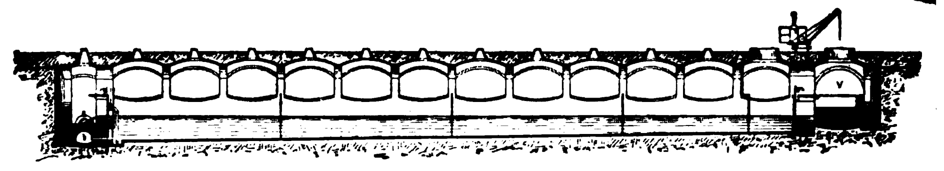


Fig. 7.

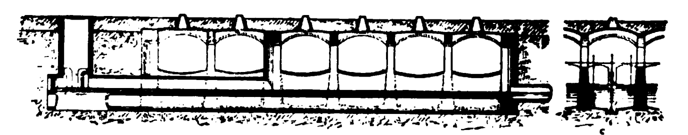


Fig. 8.

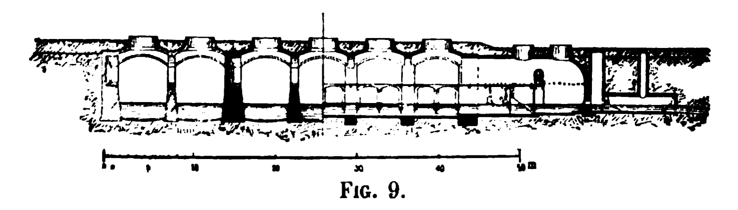


Fig. 9.

Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des matières solides en suspension et de la nécessité de les séparer.

Occupons-nous maintenant des *liquides* et des *gaz*.

L'industrie actuelle emploie des machines, et aucune machine ne fonctionne sans être graissée. Indépendamment des industries qui fournissent des eaux résiduaires, nous voyons encore contribuer à la pollution des cours d'eau, les ateliers qui

[1] *Die Klärbeckenanlage für die Sielwässer von Frankfurt a/M.* von H.-W. Lindley, Stadtbaurat (Deutsche Vierteljahrsschrift fur offentliche Gesundheitspflege, 1884, XVI, Heft 4).

n'en produisent pas. Toute détente des chaudières, tout écoulement d'eau de condensation ou de réfrigération, inoffensives par elles-mêmes, s'effectue près des pièces graissées des machines et entraîne une certaine quantité d'huile ou de graisse, qui, arrivée dans un cours d'eau public, surnage à la surface de l'eau en couche plus ou moins épaisse ou sous forme de pellicule irisée, ce qui donne à l'eau un aspect malpropre.

A la vérité, il s'agit généralement de quantités négligeables; mais on ne peut méconnaître l'impression désagréable que produisent ces traces sur le public. Il est très rare que ces huiles nuisent aux poissons, car elles n'arrivent en masse assez importante, dans nos cours d'eau, que par suite d'une grande négligence, parfois par mauvais vouloir, et assez souvent à la suite d'accidents d'atelier. Elles peuvent alors agir en empêchant le contact de l'eau avec l'air sur une certaine étendue de la rivière, ce qui enraie la circulation naturelle de l'air. Elles peuvent aussi pénétrer dans les branchies des jeunes poissons et exercer ainsi directement une influence nuisible, comme c'est le cas pour les huiles minérales impures et à bon marché. Plusieurs industries, notamment celles qui préparent le goudron, les usines à gaz, etc., envoient dans leurs eaux résiduaires, outre des huiles de graissage, d'autres produits oléagineux spéciaux, qui surnagent à la surface de l'eau. Il est nécessaire de les enlever, comme nous le verrons plus loin.

A part les exceptions dont nous parlerons ultérieurement, on se débarrasse très simplement de ces résidus d'huiles par une clarification spontanée. Il suffit seulement qu'il soit possible de les amasser à la surface de l'eau résiduaire. On y arrive en amenant cette eau dans de petites chambres en maçonnerie, en tôle ou en bois, qui sont disposées de telle sorte que les couches superficielles d'eau ne puissent s'écouler. On fait sortir l'eau à une certaine distance de la surface, comme le montrent les figures 3 et 4 ainsi que les figures 9 et 13, qui représentent, en fait, les dispositifs destinés à retenir les matières légères qui surnagent. Quand une de ces chambres

ne suffit pas, on en installe une deuxième ou même une troisième s'il y a lieu, afin d'enlever les mélanges désagréables, que l'on peut même éventuellement utiliser.

Les eaux résiduaires peuvent aussi contenir des *substances gazeuses* dissoutes et en suspension. Nous les enlevons mécaniquement en les faisant se dégager spontanément dans l'air. Pour cela, nous amenons ces eaux, en couches le plus minces possible, sur des digues artificielles ou des dispositifs en gradins. Ou bien, nous tâchons de dégager dans l'atmosphère les gaz nuisibles que renferment ces eaux, en leur faisant parcourir le trajet le plus long possible avant qu'elles débouchent dans le cours d'eau. Dans certaines circonstances, on peut aussi utiliser avec avantage l'insufflation d'air dans les eaux. De cette façon, on améliore en même temps les eaux résiduaires, au point de vue de la pêche, en augmentant, par tous ces artifices, leur teneur en oxygène.

Nous apprendrons à connaître plus tard un autre procédé pour enlever les gaz nuisibles; il consiste à les combiner chimiquement.

Souvent ces procédés de clarification, de sédimentation et de séparation que nous venons de signaler ne suffisent pas. C'est ce que prouvent spécialement les analyses que nous avons publiées plus haut. A propos de ces analyses d'eaux résiduaires, nous avons dit que la simple sédimentation les améliore, mais ne les clarifie pas. Dans ce cas, il ne reste plus qu'à les filtrer.

Avant de passer à la description des appareils de filtrage, il nous semble nécessaire de rappeler en quelques mots les moyens dont on dispose pour vider les bassins de sédimentation quand ils sont plus ou moins remplis et provisoirement hors d'usage; ou bien quand ils ne fonctionnent que par intermittence, comme cela se présente surtout dans les industries agricoles, qui fournissent d'abondants dépôts et de grandes quantités de résidus, que l'on enlève pendant la période où la fabrique ne travaille pas.

Il faut tenir compte de la nature des matières qui se

déposent, ainsi que de la quantité d'eau à laquelle elles sont mélangées. Quand cette sorte de bouillie contient beaucoup d'eau, on peut souvent se servir de pompes à eau sale (fig. 10 et 12), que l'on installe à l'endroit le plus profond du bassin de sédimentation à fond incliné (voir plus loin). On a préconisé aussi des sortes de puits plus ou moins profonds, construits à l'intérieur des réservoirs de sédimentation mêmes : les matières se déposent, glissent sur le plan incliné du réservoir et viennent s'accumuler dans le puits.

Ces masses boueuses, extraites des bassins, se répandent ensuite sur un champ dont le sol est formé par du gravier; elles prennent ainsi une consistance plus ferme, ce qui en facilite le transport. Ou bien on les comprime directement dans des filtres-presses, comme le montrent les figures 10 et 12.

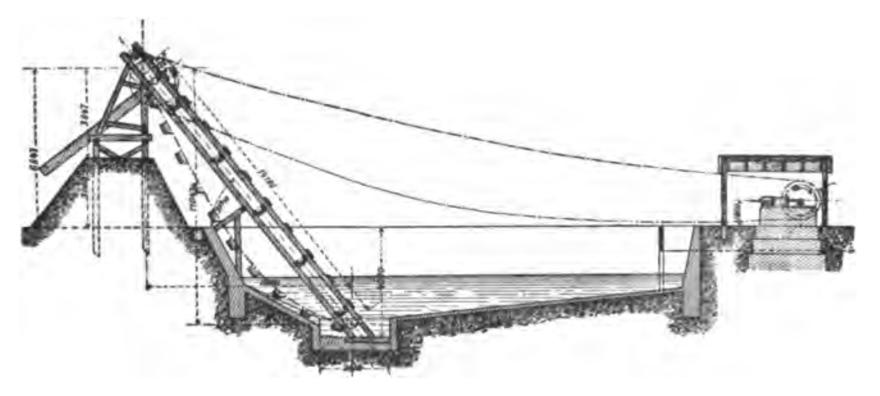


Fig. 10.

C'est surtout dans les usines qui fonctionnent continuellement que ces pompes sont employées. Les eaux d'infiltration, troubles, retournent à l'usine dans le cas où l'on ne peut les laisser passer dans la nappe souterraine.

Au lieu de pompes, on emploie également dans les grandes usines des machines à puiser, construites sur le système des patenôtres : elles se déplacent en glissant sur rails et plongent

dans la partie la plus profonde de grands bassins, dont le fond est en pente. Elles déversent la boue qu'elles ont puisée dans des récipients en forme d'entonnoirs, appropriés à cet usage et qui, à leur tour, évacuent leur contenu dans un système de rigoles *ad hoc*. La figure 10 montre un dragueur de ce genre, que j'ai vu fonctionner parfaitement à la sucrerie de Dietzdorf.

De grandes usines qui disposent de petits bassins (voir ce que j'ai dit plus haut concernant l'installation faite par Fr. Hulwa, à Strehlen) peuvent se tirer d'affaire en retirant à bras d'homme les boues, que l'on dépose sur de petits sentiers, le long des chambres de sédimentation disposées en deux rangées. A Strehlen, deux hommes sont constamment occupés à cette besogne pendant toute la durée de la campagne.

Pour enlever des grands bassins des lavoirs, des houillères, des fabriques de sucre et d'amidon, les dépôts devenus suffisamment secs par infiltration, on se sert parfois aussi de dragueurs. D'autres fois, on vide simplement les bassins à bras d'homme.

FILTRATION. — Les *filtres* offrent toujours l'inconvénient de ne pouvoir être utilisés pour de grandes quantités d'eaux sales. Même quand ces quantités sont moindres, ils ne sont utilisables que pendant un certain temps, parce que leurs pores s'obstruent, ce qui arrête leur pouvoir filtrant. Il devient alors nécessaire de les renouveler ou, du moins, d'enlever les couches filtrantes proprement dites, ce qui met les filtres hors de service. Selon le but à atteindre, on filtre sur du sable, du gravier, du charbon (charbon de bois ou coke), de grain variable. Les filtres à charbon paraissent convenir particulièrement, parce que le charbon n'est pas cher et qu'on peut, après usage, s'en servir encore comme combustible. Quand on renouvelle le charbon, le nettoyage n'exige pas de manipulations spéciales. On peut utiliser, pour alimenter les foyers des machines à vapeur, les masses de coke qui ont servi à la filtra-

tion. De cette facon, on se débarrasse parfaitement des matières organiques nuisibles qui se sont déposées, ainsi que des germes pathogènes qui s'y trouvent. La quantité de matière combustible est donc ainsi augmentée, mais son effet calorifique est parfois diminué.

Généralement on filtre de haut en bas; mais c'est de cette façon surtout que les filtres s'encrassent et deviennent imperméables. Dans le but de remédier à cet inconvénient et, tout au moins, pour ne pas empêcher une partie des matières en suspension de se déposer spontanément, on dispose les filtres de telle façon que la circulation de l'eau se fasse de bas en haut. Sous le premier filtre horizontal, on aménage une chambre de dépôt, dans laquelle les corps lourds qui ont été entraînés se rassemblent et où puissent s'accumuler, en outre, les saletés qui se détachent du filtre après s'être condensées. Les saletés étant ainsi éloignées de la surface filtrante, le filtre peut travailler plus longtemps avant d'être mis hors de service. En général, on donne à ces filtres la forme de caisses, ouvertes en haut, le fond étant percé de trous. Il arrive qu'on laisse couler les eaux à filtrer alternativement de bas en haut dans une caisse, et de haut en bas dans la suivante.

Il convient parfois que la filtration s'effectue de droite à gauche ou de gauche à droite, c'est-à-dire dans des filtres verticaux. C'est le cas notamment dans les filtres à coke en forme de caisses; mais alors on emploie toute une série de ces filtres-caisses, disposés côte à côte, séparés par des intervalles convenables et réunis dans un réservoir commun en maçonnerie ou en bois. Cette filtration latérale peut se faire à l'aide de caisses en tôle, fermées et remplies de matière filtrante; les deux faces des filtres-caisses par lesquelles passe l'eau sont faites de tôle perforée ou de treillis métallique. On peut prolonger la durée d'emploi de ces filtres-caisses en les renversant, c'est-à-dire en amenant en bas les couches supérieures qui n'ont servi que peu ou point à la filtration, ou bien encore en retournant leurs faces de filtration, c'est-à-dire en faisant passer l'eau de gauche à droite, si elle a passé précédemment de droite à gauche.

La figure 11 représente une installation de filtres que l'on emploie souvent [1].

On a également imaginé des filtres à secousses, des filtres tournants et d'autres dispositifs compliqués, sans que l'on ait obtenu pourtant avec tous ces appareils un dispositif vraiment pratique pour l'épuration des eaux résiduaires de la grande industrie. On ne peut jamais employer ces filtres que pendant un certain temps, et souvent même pendant un temps très court.

Une exception digne d'être signalée est faite pour les *filtres flottants*, qui sont ingénieux, pratiques et fonctionnent très bien.

On entend sous ce nom des masses de substances très fines,

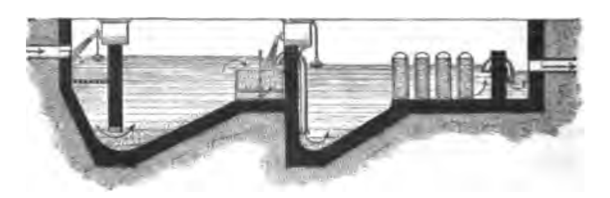


FIG. 11.

Cette installation est destinée à une épuration chimique par deux réactifs précipitants, qui agissent successivement. A gauche, au-dessus de la flèche, à l'endroit le plus profond du premier bassin, se trouve l'un des récipients à réactif, et au milieu, derrière les filtres, se trouve l'autre récipient à réactif. L'arrivée des réactifs est réglée automatiquement par des flotteurs. L'eau résiduaire entre à gauche ; un tamis treillissé retient les fragments grossiers; le premier réactif se mêle ensuite à l'eau, qui, refoulée au fond, traverse deux filtres-caisses en passant, dans le premier, de haut en bas, et dans le second, de bas en haut. Au-dessus de ce second filtre, elle reçoit le second réactif, clarifiant. Elle est ensuite amenée, par un siphon, au fond du second bassin, traverse quatre filtres-caisses verticaux et, enfin, un siphon la conduit dans le dernier compartiment, d'où elle s'écoule.

[1] Nous devons cette figure ainsi que notre figure 13 à la bienveillance de la firme bien connue, M. FRIEDRICH et Cie, de Leipzig, qui a la spécialité de ce genre d'installations.

qui restent flottantes, en équilibre entre la poussée verticale de l'eau, qui tend à les faire monter, et leur propre poids, qui tend à les faire descendre.

Dans certains cas rares, les substances en suspension dans l'eau résiduaire peuvent elles-mêmes servir à former le filtre flottant ; mais d'habitude on doit ajouter à l'eau à clarifier des matières appropriées, poussières de tourbe ou de charbon, etc., ou bien on produit des matières flottantes en faisant réagir certains corps chimiques sur les éléments constituants de l'eau sale elle-même. On peut aussi combiner ces deux façons de procéder. C'est à travers ces couches flottantes que doit passer l'eau trouble ; ce sont elles qui font l'office de matières filtrantes. En les traversant, l'eau abandonne les matières qui la troublent et qui deviennent, à leur tour, des éléments filtrants du filtre flottant, jusqu'à ce que les couches inférieures, en augmentant de densité et en se concentrant, arrivent à se déposer dans des chambres appropriées au fond du filtre.

Le principe du filtre flottant a été appliqué à une foule de dispositifs, qui diffèrent beaucoup dans leur forme extérieure, ce qui fait que parfois on ne reconnaît pas, à première vue, l'unité de leur principe. Les figures 11 à 15 nous montrent des exemples d'installations qui sont toutes basées sur le principe du filtre flottant.

On filtre surtout dans des puits profonds de formes très diverses, ou dans des cylindres en maçonnerie ou en fer, ou bien encore on combine des puits et des tours-filtres.

Dans les puits, l'eau à filtrer entre par le fond, qui est étanche. C'est d'après la quantité d'eau qui sort de la partie supérieure du puits quand il est plein, et qui est naturellement égale à celle qui entre par le fond, que se règle la vitesse de la poussée de l'eau. Cette vitesse dépend naturellement de la hauteur de la couche des matières flottantes qui constituent les couches filtrantes. D'après leurs poids spécifiques, elles restent suspendues à des distances variables du fond, les moins denses occupant les couches supérieures. Quand la vitesse de poussée

est bien réglée, l'eau sort claire par la partie supérieure. Les substances qui se sont séparées par sédimentation se rassemblent au fond et rempliraient peu à peu le puits tout entier, si

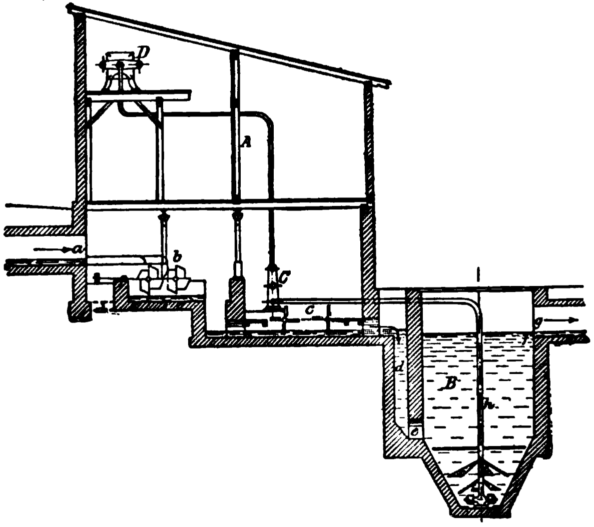


FIG. 12.

L'eau résiduaire traverse d'abord un dépotoir à sable, qui se trouve devant l'orifice d'entrée — à gauche — et qui constitue une fosse en maçonnerie. Elle pénètre ensuite, par *a*, dans le clarificateur et reçoit les réactifs chimiques, dont l'addition est réglée automatiquement par les petits appareils hydrauliques *b*. En *c* se trouvent des tamis, placés horizontalement et verticalement, qui opèrent d'abord le mélange des substances chimiques avec l'eau sale et qui, d'autre part, retiennent des matières flottantes grossières. Le mélange passe ensuite en *d* et arrive, par *e*, dans le puits de clarification B, pour s'écouler, clarifié et plus ou moins épuré, par *g*, après que le filtre flottant a accompli son rôle. Dans la partie rétrécie de B, on a disposé des ailes en forme de cône et, au-dessus d'elles, un fond criblé. Ce dernier a pour but d'assurer un état de repos aussi complet que possible dans la partie rétrécie. Les ailes sont destinées à favoriser le dépôt par l'effet du choc. La pompe C épuise, par le tube *h*, la boue qui s'est déposée au fond du puits profond, et la refoule dans les filtres-presses D, où elle va se déshydrater. L'eau qui sort des filtres-presses retourne à l'appareil de clarification.

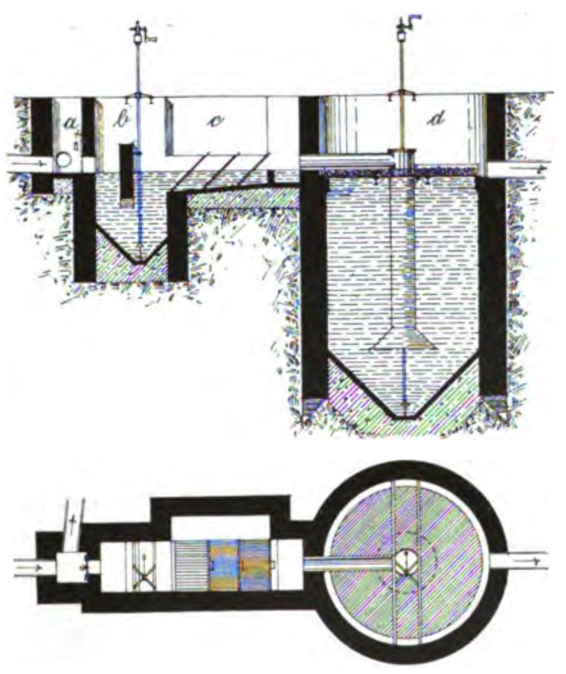


FIG. 13.

L'eau pénètre d'abord dans une première chambre *a;* on fait en sorte que l'entrée de l'eau puisse s'effectuer de deux côtés, presque à angles droits. Elle traverse le dépotoir à graisse *b*, qui se trouve dans la première chambre, dans laquelle le sable et les impuretés plus grossières se déposent; puis elle traverse un crible (*c*) constitué par des tamis grossier, moyen et fin, et, après avoir passé par-dessus un barrage, elle pénètre, par la conduite d'entrée, dans l'axe du puits de clarification principal *d*, où elle monte lentement et subit la filtration flottante. L'eau presque clarifiée traverse ensuite le grand filtre horizontal pour se clarifier plus complètement et s'écoule enfin. Dans certains cas, elle subit encore une filtration consécutive, qui n'est pas indiquée sur la figure. Une pompe évacue les boues grossières, et une autre, située dans le puits clarificateur principal, élimine les boues plus fines, qui se sont déposées [1].

[1] Cette bonne installation a été exécutée par la firme M. Friedrich et Cie, de Leipzig.

l'on n'avait soin de pomper les boues concentrées. Amenées à la surface, ces boues sont rendues plus concentrées encore, soit en les déposant sur des tas de gravier perméables, soit à l'aide de filtres-presses. L'eau qui s'en écoule est alors renvoyée au filtre flottant. La pompe peut être placée dans le puits de clarification même. Elle peut aussi se trouver dans un autre puits voisin, dont le fond est à un niveau inférieur à celui du puits de clarification, mais qui communique avec lui, de telle façon que les boues arrivent dans le puits qui contient la pompe, en glissant sur un plan incliné.

Les puits profonds destinés à la clarification des eaux ont été appliqués, pour la première fois, dans le procédé d'épuration Nahnsen-Müller (F.-A.-Rob. Müller et C[ie], à Schönebeck-sur-Elbe).

MM. Friedrich et C[ie], de Leipzig, utilisent de la même manière les puits profonds, comme le montre la figure 13; cependant ici, avant de sortir, l'eau clarifiée traverse encore un filtre horizontal.

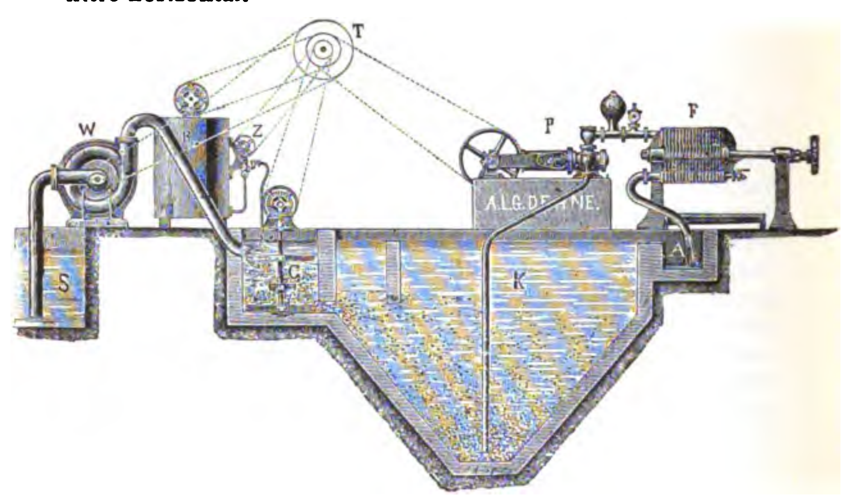


Fig. 14.

L'installation de M. Dehne (fig. 14) utilise l'épuration chimique. La pompe à turbine W élève l'eau résiduaire du dépotoir à boues S dans une

première chambre G, dans laquelle un agitateur opère le mélange avec les réactifs précipitants qui viennent de R, ces réactifs étant eux-mêmes agités continuellement en R. La pompe Z règle automatiquement l'arrivée de l'eau. De là, l'eau résiduaire, dont les impuretés ont été rendues plus denses et transformées en matières solides, arrive dans le puits profond K, tandis que la graisse, qui s'est séparée, ainsi que les substances flottantes légères et plus grossières sont retenues en G et peuvent être évacuées. En K s'opère la filtration flottante; l'eau clarifiée passe pardessus le barrage qui se trouve à gauche de A et s'écoule. La boue fine qui s'est déposée au fond de K est puisée au moyen de la pompe P et refoulée daus les filtres-presses F; l'eau qui s'écoule des presses arrive dans le tuyau de décharge A, comme le montre la figure. En se basant sur le travail accompli par les filtres-presses, il serait recommandable de soumettre de nouveau au procédé les eaux qui s'écoulent et qui pourraient rentrer dans l'appareil à peu près au-dessous de T. En effet, les filtres-presses laissent échapper au début, quand on y a introduit des toiles neuves, une eau insuffisamment « filtrée ».

Dans l'installation représentée par la figure 15, les eaux résiduaires

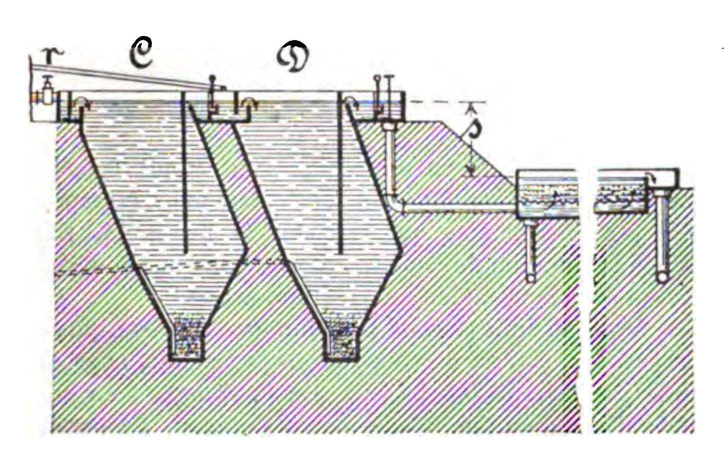


Fig. 15.

passent à travers un dépotoir à sable, etc., — qui n'est pas représenté dans notre dessin; — elles arrivent du côté gauche, par une conduite qu'on peut fermer, dans une première chambre, qu'on doit considérer

comme un dépotoir à graisses. Elles passent ensuite au-dessus du barrage, comme le montre la flèche de gauche, et descendent lentement dans la fosse C. Là, elles se concentrent et les substances en suspension se déposent au fond de C. La partie de droite de la fosse, qui va en se rétrécissant vers le haut, exerce peut-être une influence défavorable sur la filtration flottante, parce que la poussée de l'eau devient plus forte, grâce à ce rétrécissement. Après que l'eau a atteint la première chambre de D, dans laquelle arrivent les réactifs chimiques par *r*, une seconde filtration flottante s'opère en D, comme elle s'était opérée en C. Finalement, l'eau laisse déposer spontanément quelques substances encore dans le grand bassin de décantation à droite, et elle s'écoule après avoir traversé un filtre horizontal. En C, on ajoute généralement de petites quantités de chaux vive (30 à 50 grammes par mètre cube d'eau résiduaire), tandis qu'en B, on ajoute des sulfates (probablement des sels de fer et d'aluminium). Le filtre, qui est coupé dans la partie droite de notre figure, est un filtre double et doit servir de filtre de réserve. La construction particulière qui permet de laver les filtres en renversant le courant de l'eau dans le filtre voisin ne nous intéresse pas ici. Ce filtre double est d'ailleurs installé de telle façon que la hauteur de pression *s* se règle automatiquement. On a aussi prévu la désinfection éventuelle par la chaux vive ou le chlore. Les boues fines qui se sont déposées sont enlevées par le tuyau d'aspiration K, puis concentrées et travaillées ultérieurement.

Une forme très différente du puits profond, et qui répond à peine à ce que nous appelons vulgairement un puits, est représentée par l'installation que reproduit la figure 14. Elle applique la filtration flottante en même temps que la déshydratation de la boue au moyen d'un filtre-presse [1].

Une forme de puits profond pour filtration flottante, qui est plus spéciale encore et de construction ingénieuse, nous est fournie par l'installation projetée par F. Eichen, pour son système d'épuration (fig. 15). Nous en extrayons les parties essentielles [2].

[1] Exécutée par la firme bien connue A.-L.-G. Dehne, de Halle-sur-Saale. Nous empruntons la figure au prospectus de cette maison.

[2] D'après un dessin schématique, qui nous a été obligeamment transmis par l'*Allgemeine Städtereinigungsgesellschaft m. b. H.*, Wiesbaden.

Une autre modification du même principe se trouve réalisée par les cylindres de clarification qu'on place à la surface du sol. Ce sont les appareils Röckner-Rothe, qui se sont acquis une légitime réputation parce qu'ils fonctionnent d'une façon irréprochable, surtout quand on les combine avec le procédé à la bouillie de charbon.

L'eau sale entre également par la partie inférieure de ces cylindres, dont le diamètre varie selon les quantités d'eau qu'il s'agit de traiter : il peut aller jusqu'à 6 mètres et même au delà. A la voûte du cylindre est adaptée une pompe à air, qui remplit le cylindre par aspiration, ou plutôt qui permet à la pression atmosphérique de faire monter l'eau dans le cylindre On comprend qu'un cylindre de clarification ne peut pas dépasser, en hauteur, de plus de $10^m,30$ le niveau de l'eau que contient le puits auquel il est adapté et qu'il est appelé à épurer. A la voûte du cylindre est fixé un tube d'écoulement pour l'eau clarifiée. Ce tube débouche sous l'eau, à un niveau inférieur à celui de l'eau du puits. Ainsi se trouve réalisé un siphon, qui, une fois que le cylindre est rempli, rend inutile la pompe à air. Celle-ci ne doit de nouveau fonctionner que quand les gaz qui se dégagent de l'eau sale se sont accumulés dans la partie supérieure. La figure 16 [1] représente l'appareil tel qu'il était construit quand on a commencé à l'employer pour l'épuration des eaux résiduaires et tel que je l'ai vu, pour la première fois, en 1880, dans une brasserie de Strasbourg, où il fonctionnait très bien ; la pompe était manœuvrée à la main.

La figure 16, il est vrai, ne correspond plus à la forme que les appareils Röckner-Rothe affectent actuellement ; mais elle explique clairement le principe sur lequel ils sont basés.

Dans les appareils actuels, le cylindre clarificateur est combiné avec une installation de puits profonds ; on n'enlève plus,

[1] Cette figure ainsi que les deux suivantes ont été mises à notre disposition par M. Wilh. Rothe : nous lui exprimons tous nos remerciements.

non plus, les boues au moyen d'un patenôtre; mais elles sont aspirées par un tuyau de pompe qui, en suivant l'axe du cylindre, plonge dans la partie la plus profonde du puits, qui va aussi en se rétrécissant vers le bas (par exemple à l'usine d'épuration de Potsdam). Au lieu de donner au cylindre une

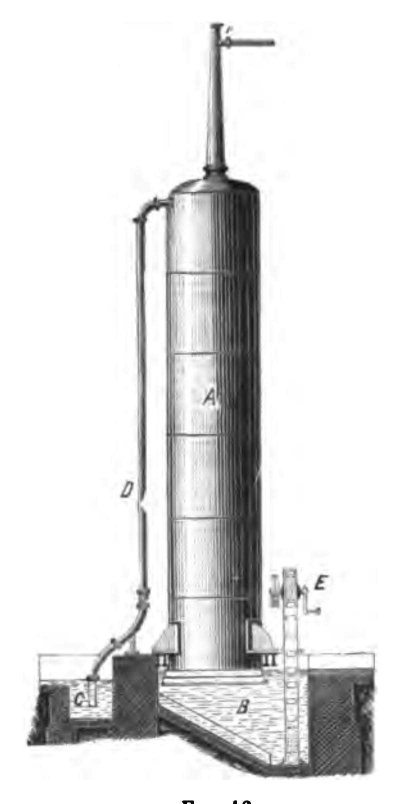


Fig. 16.

L'eau sale, additionnée de réactifs précipitants, entre à droite dans le puits de clarification B, qui n'est pas très profond et au-dessus duquel s'élève le cylindre de clarification A. L'eau monte sous l'action de la pression atmosphérique et s'écoule par le siphon D dans la conduite de décharge C, pour pagner de là le cours d'eau public. Les boues fines, qui se sont déposées, glissent, le long du plan incliné de B, vers le fond du puits, à gauche, d'où elles sont enlevées par un patenôtre.

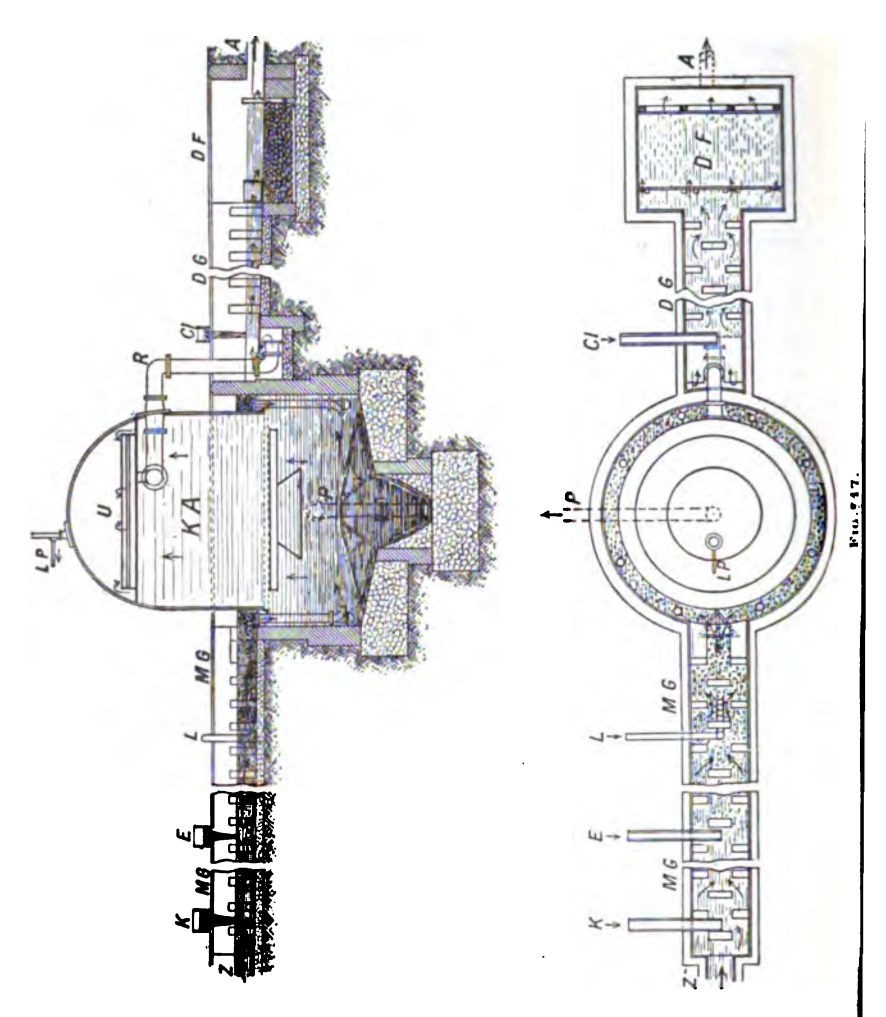
position verticale, on l'incline parfois. Des diaphragmes, disposés à l'intérieur du puits profond pour régler le courant, et un trop-plein, construit d'une façon spéciale et siégeant à la partie supérieure du cylindre, assurent, dans toutes les parties

de la colonne d'eau, une ascension aussi régulière que possible, variant entre 2 et 9 centimètres à l'heure. Quand l'appareil fonctionnait sous sa forme primitive, il y a une vingtaine d'années, on employait des précipitants chimiques (chaux vive et sels aluminiques), et l'on y ajoutait des substances argileuses pour augmenter la densité. Le fonctionnement du filtre laissait peu à désirer.

Récemment, la firme Wilh. Rothe et Cie, à Güsten, a acheté le procédé à la bouillie de charbon de P. Degener et l'a combiné avec son propre procédé. Les eaux d'égout des villes, par exemple, sont intimement mélangées à une bouillie de charbon — poudre très fine de lignite ou de tourbe obtenue par trituration humide des matières premières dans un moulin mû à la vapeur. Cette poudre très légère, pour agir comme clarifiant, est rendue plus lourde par l'addition d'un sel de fer; elle peut alors effectuer la clarification. Les propriétés clarifiantes de ce procédé combiné paraissent à l'abri de tout reproche, d'après les expériences faites à Potsdam et ailleurs, bien qu'il ne puisse naturellement enlever les substances organiques non précipitables qui existent dans ces eaux sales relativement fraîches et que l'autoépuration dans la rivière peut seule éliminer. La boue charbonneuse qui se sépare est déshydratée au moyen de filtres-presses. Elle est ensuite desséchée à l'air sous forme de briquettes et, finalement, elle sert de combustible ou est utilisée pour la fabrication du gaz.

Des eaux de ce genre peuvent contenir des germes pathogènes, car elles ne sont pas désinfectées à la chaux et le filtre flottant ne parvient pas à retenir les germes d'une manière suffisamment parfaite. C'est pour des considérations hygiéniques qu'il faut ajouter du chlorure de chaux à l'eau filtrée, dans le but de tuer les germes. Les légers troubles qui en résultent sont enlevés par des filtres à coke plats, qui rendent ainsi inoffensives les dernières traces de chlore libre.

La figure 17 nous représente schématiquement le procédé Rothe-Degener à la bouillie de charbon ou à l'humus; elle montre en coupe diverses installations spéciales intéressantes.



L'eau résiduaire traverse d'abord un dépotoir à sable avec grille, — qui n'est pas représenté sur la figure, — dans lequel elle abandonne les impuretés les plus denses, ainsi que les saletés plus grossières qui flottent. Elle entre ensuite, à gauche, dans la conduite de mélange MG, dans laquelle sont disposés des obstacles qui allongent le chemin à parcourir et où s'opère souvent le mélange de l'eau avec la bouillie de

charbon, qui entre par K. En E s'ajoutent ensuite les précipitants chimiques et, suivant l'origine et la nature des eaux résiduaires, il s'établit en L une aération permanente. L'eau arrive ainsi dans l'espace circulaire qui entoure le cylindre de clarification, et, de là, des tuyaux la conduisent jusqu'au fond du puits profond. Chassée par la pression atmosphérique à travers le distributeur, — qui se trouve au-dessus de P, — elle s'élève lentement dans la tour de clarification et subit, en réalité, la filtration flottante dans le puits profond. Elle arrive ainsi au trop-plein U et, de là, selon le diamètre du siphon R, elle gagne la conduite de désinfection DG. Dans cette conduite, l'eau résiduaire clarifiée est additionnée de chlorure de chaux dilué, — 12 à 15 grammes par mètre cube, — et le mélange s'y accomplit de la même manière qu'en MG. C'est là que les bactéries pathogènes sont tuées [1]. Les eaux, devenues légèrement troubles, traversent de haut en bas le filtre de désinfection DF, qui est un filtre à coke. De nouveau clarifiées et privées en même temps de leurs dernières traces de chlore, elles sortent, en A, purifiées autant que le permet un procédé d'épuration appliqué à des eaux de cette nature.

Les boues fines sont extraites du fond du puits profond, à l'aide du tuyau de pompe P. Elles sont refoulées dans les filtres-presses, tandis que les eaux qui sortent de ces derniers sont ramenées dans le système. Les gâteaux obtenus par l'expression sont desséchés et utilisés comme nous l'avons dit plus haut.

La figure 18, enfin, montre une installation Rothe-Degener dans son aspect extérieur, telle qu'on peut la voir à Spandau. Ce que nous avons dit précédemment nous dispense d'en donner l'explication.

On a encore imaginé une série de dispositifs de formes diverses, basés sur le principe de l'action des siphons. Tous appliquent plus ou moins le système des filtres flottants. Mais nous avons décrit les formes les plus employées d'installations de filtres flottants.

[1] Dans le but d'éviter un excès de ce réactif nuisible aux poissons, on règle l'addition du chlore de telle manière que la dose soit suffisante pour tuer avec certitude le *Bacterium coli*. L'expérience a démontré que lorsque ce micro-organisme est tué, toutes les bactéries pathogènes l'ont déjà été, au préalable, par le chlore. Il n'est pas nécessaire d'exiger, dans l'intérêt de l'hygiène, la mort de bactéries particulièrement résistantes, mais inoffensives, ce qui ne pourrait s'obtenir qu'en augmentant la dose de chlore.



FIG. 18. — *Installation de clarification de Spandau, d'après* ROTHE-DEGENER.

Avant d'en finir avec la description des appareils de filtration et des procédés d'épuration mécanique, qu'il me soit permis de parler brièvement des *dispositifs pour arrêter des corps*. Certaines industries laissent échapper trop facilement des particules finement divisées, provenant de leurs produits de fabrication, comme, par exemple, les fabriques de cellulose et de papier. D'autres doivent retenir certaines parties de leurs matières premières, soit avant, soit après leur emploi : c'est le cas, dans les fabriques de sucre, pour les queues et les débris de pulpe qui passent dans les eaux résiduaires.

Pour arrêter les fibres fines, on a imaginé des appareils qui remplissent plus ou moins bien leur rôle : ce sont de fins

tamis ou des peignes spéciaux. Les dispositifs pour arrêter les solides construits par E. Schuhricht de Siebenlehn et plus récemment par H. Riensch de Uerdingen-sur-Rhin sont les plus répandus.

Pour retenir les matières plus grossières que nous avons citées en second lieu, on se sert de grilles en bois ou en fer, de tamis, etc., tels que ceux qui fonctionnent dans les appareils représentés par nos figures 9 et 11. On se sert aussi, pour cela, du véritable arrête-queues, qui écarte mécaniquement du tamis fin les fibres des racines qui ont été entraînées, afin d'empêcher les débris de racines, qui sans cela s'y accumuleraient, de compromettre la perméabilité du tamis fin.

Nous établissons une distinction entre ces dispositifs destinés à retenir certaines matières et les dispositifs d'épuration proprement dits, attendu que le rôle principal des premiers n'est généralement pas d'épurer, mais plutôt de retenir des masses qui ont plus ou moins de valeur.

Quand il s'agit d'eaux résiduaires, on ne songe généralement pas au rôle que des appareils de ce genre peuvent jouer dans l'épuration.

Enlèvement des gaz, aération, réfrigération. — Lorsque les eaux qui les contiennent circulent à ciel ouvert sur un long parcours, les gaz nuisibles se dégagent dans l'air. Quand la place fait défaut ou que les circonstances s'y opposent, on doit alors construire des digues, des déversoirs, des barrages, etc., au-dessus desquels les eaux résiduaires, qu'il s'agit de débarrasser des gaz, s'écoulent en couche mince, afin d'exposer à l'air la surface la plus étendue possible. Des dispositifs en gradins conviennent aussi pour cette opération, qu'ils exécutent d'ailleurs parfaitement. En même temps que s'accomplissent ces processus, l'eau résiduaire *absorbe de l'air* et, par conséquent, de l'oxygène, qui lui manque généralement et qui, à son tour, dans certaines circonstances, produit des oxydations. Les *procédés d'élimination du fer* de Piefke et d'Oesten rentrent aussi dans la même catégorie. Piefke fait couler l'eau

sur des couches de coke, en y amenant en même temps de l'air; tandis que Oesten fait tomber l'eau dans l'air par des pommes d'arrosoirs. Les mêmes procédés peuvent aussi servir à *refroidir*, quand c'est nécessaire, les eaux résiduaires, les eaux de condensation, etc., chaudes à leur sortie des usines. Je fais allusion aussi aux « réfrigérants à gradins » des fabriques de sucre.

ÉPURATION CHIMIQUE. — Les moyens mécaniques dont nous venons de parler ont uniquement pour but de retenir les matières en suspension qui troublent l'eau sale, c'est-à-dire ses constituants insolubles. Pour enlever — autant que possible — les impuretés solubles, on se sert de l'épuration chimique. Elle a pour but de transformer en sels insolubles les substances dissoutes dans l'eau qui peuvent subir cette transformation. Ces substances insolubles sont alors éliminées par les moyens mécaniques que nous venons de décrire. Les substances qui, par des moyens chimiques, ne peuvent être rendues insolubles, mais qui peuvent être transformées en gaz, peuvent également subir l'épuration chimique. L'épuration chimique nous permet aussi de rendre des acides inoffensifs en les combinant avec des bases; réciproquement, nous pouvons enlever aux alcalis caustiques la possibilité de nuire, en mélangeant aux eaux qui les contiennent des acides qui les transforment en sels inoffensifs.

Cela s'obtient sans difficultés, d'après la loi de l'affinité chimique et des doubles décompositions.

Si, par exemple, à une eau qui contient de l'acide sulfurique libre nous ajoutons du lait de chaux, l'acide se combine; il se forme du sulfate calcique qui se précipite, en grande partie du moins, parce qu'il est insoluble — ou du moins peu soluble — dans l'eau. Il suffit alors de l'enlever mécaniquement. Si l'eau avait contenu de l'acide chlorhydrique, en ajoutant de la chaux la réaction acide aurait également disparu; mais, dans ce cas, il ne se serait pas formé de précipité, parce que le chlorure calcique produit par cette réaction est

très soluble dans l'eau. Mais nous savons, d'autre part, que le chlorure calcique est pour le poisson un corps inoffensif.

Ainsi, dans le premier cas, nous n'avons pas seulement rendu l'acide inoffensif, mais, par un processus chimique, nous l'avons enlevé de l'eau en même temps que le réactif ajouté. Dans le second cas, au contraire, nous l'avons seulement rendu inoffensif; l'acide et le réactif épurateur combinés sont restés à l'état dissous dans l'eau. La souillure de l'eau s'est donc en quelque sorte accrue de la quantité du réactif ajouté; mais néanmoins l'eau a perdu son action nuisible, pour autant que la dilution soit suffisante pour empêcher que la concentration ne soit trop élevée.

Si nous avons affaire à des eaux alcalines, des lessives, l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique nous aideront à former des composés inoffensifs qui ne sont plus caustiques; mais comme les eaux résiduaires ne contiennent généralement que des lessives de potasse et de soude, nous obtenons avec ces deux acides des composés solubles, les sulfates et chlorures potassiques et sodiques étant solubles.

Si une eau contient, par exemple, des sels ammoniques que nous désirons éliminer, nous y ajouterons de la chaux vive pour former de l'ammoniaque libre. Si alors nous appliquons les procédés dont nous avons parlé à propos de l'élimination des gaz, cette ammoniaque se dégage dans l'air. Là, une partie de ce gaz se combine à l'acide carbonique de l'air pour former du carbonate ammonique.

On entend par double décomposition chimique de deux sels, l'échange réciproque des parties acides et basiques de ces sels.

Si, par exemple, nous ajoutons à une eau résiduaire contenant du sulfate de cuivre un sel soluble de calcium, il se produit du sulfate calcique insoluble. Mais ce traitement ne nous aiderait en rien, attendu que nous voulons enlever le cuivre, toxique. Si nous ajoutons de la chaux vive, le cuivre se précipite sous forme d'oxyde cuivrique; en même temps, l'acide sulfurique, combiné avec la chaux, se précipite sous forme de sulfate calcique.

Dans l'épuration chimique, nous devons donc avant tout connaître quelles substances il faut ajouter pour produire, avec les corps qu'il s'agit d'éliminer, des composés insolubles ou gazeux. Une épuration chimique ne peut être active qu'à la condition que nous puissions former des composés insolubles avec les matières à enlever. Chaque fois que cela n'est pas possible, nous ne pouvons obtenir une épuration — c'est-à-dire une soustraction, un enlèvement des impuretés —, mais nous pouvons tout au plus, dans le cas le plus favorable (acides, bases), simplement améliorer l'eau résiduaire, en détruisant l'action nuisible qu'elle exerçait directement sur les poissons.

Nous devons ajouter encore qu'à l'aide de processus chimiques, nous pouvons non seulement séparer ou rendre inoffensives des substances solides dissoutes, mais encore des liquides et des gaz. Ainsi, par exemple, nous enlevons généralement l'acide sulfhydrique, qui est un gaz vénéneux, en ajoutant des sels de fer, ce qui provoque la formation de sulfure de fer, insoluble, qui se précipite. Nous réalisons aussi des oxydations, par la voie chimique, dans le cas où l'oxygène de l'air n'agit ni avec l'énergie, ni avec la rapidité désirables; c'est ce que nous obtenons, par exemple, avec le permanganate. De même, on peut provoquer des réductions à l'aide de substances avides d'oxygène.

L'épuration chimique ne rend pas seulement des services quand il s'agit d'éliminer des matières dissoutes, mais encore quand il faut séparer des corps insolubles très légers, spécialement de nature organique.

Nous avons dit précédemment que l'on rend plus lourdes les matières organiques en suspension, en y ajoutant des substances minérales délayées, de l'argile ou du limon par exemple. Ce moyen reste toujours quelque peu douteux, grossier pour ainsi dire, parce qu'il est difficile d'effectuer convenablement le mélange. Dans ce cas encore, l'épuration chimique rend les meilleurs services, soit que nous utilisions des constituants précipitables de l'eau résiduaire même pour faire office de réactif destiné à augmenter la densité, soit que, sans

nous inquiéter de ce qui se trouve dans l'eau, nous provoquions, en mélangeant deux sels, une réaction chimique dont le produit insoluble est très finement divisé, ou bien se dépose, au moment même où il se forme, sur les matières légères suspendues dans l'eau résiduaire, les rendant ainsi plus denses, ou bien les englobe et les entraîne mécaniquement vers le fond de l'eau.

Nous pouvons donc, à l'aide de l'épuration chimique, enlever, par clarification mécanique, les substances légères qui troublent l'eau ainsi que toutes les matières dissoutes que nous pouvons rendre insolubles. Parmi les substances minérales, seules celles qui constituent les éléments de l'eau de mer résistent à nos efforts ; mais parmi les substances organiques solubles, il en est, au contraire, un grand nombre que nous ne pouvons absolument pas rendre insolubles ou que nous ne pouvons rendre insolubles qu'à l'aide de composés trop coûteux.

Dans la technique de l'épuration des eaux résiduaires, les procédés chimiques ne doivent employer que des substances faciles à obtenir et d'un prix peu élevé. Les frais d'épuration ne doivent pas constituer une charge excessive pour l'industrie. Les imposer serait souvent compromettre l'existence de l'industrie.

Il en résulte que le nombre des moyens dont la technique de l'épuration dispose est réellement très restreint : la chaux vive, les sels de fer et d'aluminium, des eaux mères peu coûteuses et quelques résidus industriels constituent les principaux réactifs épurateurs, en dépit du grand nombre de recettes qui ont été proposées.

Nous devons encore rappeler une circonstance qui est souvent gênante. On doit pouvoir exiger de l'épuration chimique, non seulement qu'elle aide à se déposer les substances légères en suspension et qu'elle précipite tout corps précipitable, mais encore que les substances précipitées grâce à son action restent insolubles et que les eaux épurées restent claires d'une façon permanente.

Or, c'est précisément à ces deux conditions que l'épuration chimique ne satisfait souvent pas.

Nous ne prétendons pas que quand il s'agit uniquement d'enlever des substances minérales précipitables, l'épuration chimique ne nous rende les services que nous en attendons. Mais, pour les eaux résiduaires riches en matières organiques, par exemple pour les eaux d'égout des villes, dont la composition est très variable, nous ne pouvons espérer trouver un remède efficace, capable de nous débarrasser de toutes les substances diverses qu'elles contiennent. Les réactifs chimiques ne peuvent agir uniquement comme précipitants sur toutes les matières. Il en est sur lesquelles ils n'ont pas d'action; il en est d'autres qu'ils empêchent de se précipiter, alors que sans cela elles auraient fini par le faire pour d'autres motifs; il en est d'autres encore qu'ils dissolvent même. C'est l'action que la chaux, grâce à ses propriétés basiques, exerce malheureusement sur certaines matières albuminoïdes ou sur des composés analogues. Aussi, ses autres propriétés, qui conviennent parfaitement à l'épuration, perdent-elles réellement de leur valeur.

C'est une règle fondamentale de la technique de l'épuration, que nous ne devons employer les réactifs épurateurs qu'avec modération; nous devons éviter qu'ils ne soient employés en excès, si nous désirons que cet excès ne puisse faire plus de mal que n'en auraient occasionné les substances mêmes que nous cherchons à éliminer.

Pour ce qui concerne la chaux, malgré ses actions nuisibles sur les poissons, il n'y a pas lieu de nous en inquiéter trop; car, grâce à l'acide carbonique de l'air, un léger excès de chaux est facilement éliminé. Mais en même temps que disparaît la chaux, les substances qu'elle avait rendues solubles se reprécipitent naturellement, de sorte que le travail de clarification est perdu et la nature des corps précipités occasionne malheureusement des accidents importants dans les parties intéressées du cours d'eau. Il faut ajouter que la chaux et la plupart des réactifs chimiques employés agissent comme désinfectants,

comme germicides, ainsi que nous le verrons encore en parlant de l'épuration biologique. Ces réactifs peuvent provoquer la formation d'un précipité de matières organiques légères, qui trouble l'eau. La chaux n'est pourtant pas un désinfectant dont l'action est rapide et complète, du moins au degré de concentration où on peut l'employer dans le cas qui nous occupe. Dans les masses précipitées, il persiste inévitablement des germes qui continuent à vivre. Grâce à l'acide carbonique produit par l'activité vitale de ces micro-organismes, les propriétés antiseptiques de la chaux diminuent au fur et à mesure qu'il se forme du carbonate calcique. Alors les masses qui se sont déposées dans nos bassins de décantation subissent des décompositions putrides, et nous voyons redevenir solubles, non seulement des substances qui étaient solubles avant qu'on ajoutât la chaux, mais même des substances qui étaient alors insolubles ou précipitées. C'est ce que l'on constate souvent dans les grands réservoirs de décantation des sucreries et des amidonneries. Il en résulte que l'on renonce de plus en plus à l'emploi de la chaux pour épurer les eaux résiduaires qui sont principalement chargées de matières organiques, surtout quand les circonstances ne permettent pas d'enlever rapidement les dépôts des bassins de décantation.

Nous avons déjà signalé la multitude des recettes préconisées pour l'épuration chimique. Quand nous connaissons la composition chimique d'une eau résiduaire ainsi que la nature des matières que nous voulons éliminer à l'aide de l'épuration chimique, nous parvenons aisément, comme nous l'avons déjà dit, à rendre inoffensives ces matières ou à les séparer, quand c'est possible. Il n'y a donc pas de formules ou de recettes générales ; on doit rechercher les réactifs et les moyens qu'il est nécessaire d'employer pour chaque cas particulier.

Si nous avons affaire à une eau résiduaire contenant un tas de matières diverses dont la nature chimique nous est inconnue, ou du moins dont les propriétés sont incomplètement connues, la question n'est pas aussi simple et le résultat est généralement incertain. C'est ce qui se présente pour les eaux

sales qui contiennent des matières organiques déjà partiellement en décomposition, telles que nous en fournissent les fabriques de sucre, selon le procédé de fabrication dont elles se servent. C'est le cas encore pour les eaux des teintureries et surtout pour les eaux d'égout des villes, qui renferment constamment ou temporairement des quantités variables de résidus industriels divers. Il faut alors faire des essais de tout genre, afin d'arriver à un procédé d'épuration qui soit le plus conforme aux circonstances et afin de déterminer la nature et la dose des matières à employer. L'expérience acquise est alors de la plus grande importance; car le raisonnement et la réflexion ne suffisent pas à eux seuls, le problème présentant trop d' « inconnues ».

Ces considérations expliquent comment il se fait que l'on a recommandé un si grand nombre de recettes. Elles montrent en même temps que telle méthode qui a donné de bons résultats ici peut échouer ailleurs. J. König, dans la seconde édition (1889) de son Traité, expose, avec beaucoup de détails, « entre autres » 75 recettes d'épuration ; mais il termine sa longue énumération par cette remarque digne d'attention et que tout le monde approuvera, sauf naturellement les « inventeurs » : « Généralement on se sert, comme précipitants, de » chaux vive, de sulfate ferreux ou ferrique, de chlorure » ferrique, de sulfate aluminique, d'argile fondue (contenant » de l'acide silicique soluble), de chlorure magnésique ou de » sulfate magnésique ».

Quand nous jetons un coup d'œil sur la longue série des recettes proposées, nous voyons constamment revenir, en effet, les substances que cite König, en y ajoutant naturellement, dans certains cas, des poussières de charbon ou de coke, de l'acide phosphorique et des sels de manganèse ou des eaux mères. Elles sont parfois accompagnées de formules chimiques complexes, destinées à faire impression sur le profane, qui ne comprend pas ce qu'elles signifient. Mais nous voyons aussi figurer au nombre des substances chimiques que l'on emploie comme précipitants, les sels toxiques de cuivre, de zinc et de

plomb, l'acide sulfureux, les sulfites, les hyposulfites, à côté de sulfures métalliques solubles et insolubles, de la chaux d'usine à gaz, du goudron, de l'acide phénique, du sel marin, — qui est inoffensif mais complètement inactif ici, — sans compter la mousse d'Islande, la saumure de hareng et même, finale amusante, les excréments, que l'on a recommandés aussi, mais uniquement comme moyen de précipitation et non pour d'autres usages !

La question de l'épuration chimique, telle qu'elle est présentée dans ces recettes recommandées à la pratique, produit une impression qui n'a rien de scientifique ; par-ci par-là même, on a le regret de constater chez les inventeurs de recettes une étonnante ignorance de ce que doit être une eau résiduaire épurée.

Tout cela ne doit pas nous surprendre ; car de par tout le monde civilisé, nulle part on n'enseigne scientifiquement l'épuration des eaux résiduaires et la façon de conserver salubres nos cours d'eau ; nulle part on ne travaille à résoudre les problèmes qui se posent. En tout cas, jusqu'à présent, une institution de ce genre n'existe dans aucune université allemande ni dans aucune de nos écoles techniques supérieures.

Dans ces conditions, comment acquerrait-on les connaissances relatives à la constitution, à la nocuité et à l'utilisation des eaux résiduaires ?

Ce n'est que depuis un petit nombre d'années que l'Office sanitaire impérial en Allemagne et, en Prusse, le Ministère de l'Intérieur et surtout celui des Cultes, avec la collaboration de l'Institut royal pour l'étude des maladies infectieuses, ont, pour des considérations hygiéniques, dirigé leur attention sur la question importante des eaux résiduaires autres que celles du nettoiement public des villes, et qu'ils ont promis leur concours. Il convient de rappeler ici particulièrement l'intérêt que porte à ces questions le Dr Schmidtmann, conseiller au Ministère prussien des Cultes, de l'Instruction et des Affaires médicales. Il fait des efforts énergiques pour en assurer la solution, ainsi que le prouvent les publications récentes qu'il

y a consacrées [1]. Enfin, M. le professeur Dr Ferd. Fischer, de Göttingen [2], et M. le professeur Dr Jos. König, de Munster [3], ont le grand mérite d'avoir réuni les résultats des expériences faites depuis des années sur la contamination et les méthodes d'épuration des eaux, résultats qui se trouvaient éparpillés dans la littérature et qu'ils ont mis à la portée de la plupart des intéressés. Je tiens à mentionner tout spécialement le mérite, non moins important, que s'est acquis la *Deutsche-Landwirthschafts-Gesellschaft*. Grâce à l'instigation énergique de M. Albert Schultz-Lupitz, cette société s'est particulièrement intéressée à la question de l'utilisation agricole de ces résidus. Le résultat de ces efforts, dignes d'être signalés, est le *Handbuch der Verwertung städtlicher Abfallstoffe* de J.-H. Vogels [4].

Sur les instances de M. Schmidtmann, la Prusse a récemment (1er avril 1901) créé un « Institut de recherches et d'expériences relatives à la protection de l'eau et à l'élimination des eaux résiduaires » [5]. Cet institut, qui est administré par M. Schmidtmann, a pour directeur le bactériologiste bien connu, M. le professeur Dr C. Günther, qui dispose d'une série de collaborateurs, tous hommes de science (chimistes, botanistes, zoologistes).

L'Institut n'a pas encore produit de publications. Il s'occupe essentiellement des besoins de l'État, par exemple des demandes de concession tendant à utiliser les cours d'eau pour recevoir des eaux résiduaires, etc.; mais des particuliers peuvent aussi lui faire exécuter des recherches, comme le prouve la publication d'un tarif. Malheureusement, cet institut ne fait pas encore actuellement d'enseignement.

En Bavière, d'après ce que nous apprenons, on prépare aussi

[1] *Vierteljahrschrift für gerichtliche Hygiene.* 1898 et suiv.

[2] *Das Wasser, etc.* Berlin, 1902, 3e édition, Jul. Springer, éditeur.

[3] *Die Verunreinigung der Gewässer.* Berlin, 1899, 2e édition, Jul. Springer, éditeur.

[4] *Verlag der Deutsch. Landwirthschaft-Gesellschaft.* Berlin, 1896.

[5] « *Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung.* »

la fondation d'un institut qui aura à s'occuper des questions relatives aux eaux résiduaires.

On comprend que l'épuration chimique rationnelle a été influencée par le désir, bien naturel, non seulement d'arriver à une épuration convenable des eaux, mais encore de faire des boues précipitées un produit utilisable.

Pour les eaux vannes qui contiennent des substances organiques azotées, en raison de la grande valeur économique de ces matières comme engrais, il était tout indiqué de chercher à les utiliser après les avoir séparées par épuration chimique. Les précipitants devraient donc être choisis de telle façon que leurs constituants — par exemple des phosphates — pussent aussi être rendus utiles, ce qui augmenterait la valeur du produit.

Malheureusement, malgré tous les efforts, on n'est pas parvenu jusqu'à présent à obtenir ainsi des matières contenant les substances utiles en proportions suffisantes pour que leur valeur l'emportât sur les frais nécessités par un transport lointain, condition indispensable pour que leur réalisation donne quelque bénéfice.

Nous signalerons maintenant quelques-uns des procédés qui, parmi les nombreux moyens qui ont été proposés, ont acquis une certaine importance et sont fréquemment appliqués.

Nous avons déjà eu l'occasion d'indiquer les résultats fournis par quelques-uns d'entre eux ; d'autres ont été mentionnés ailleurs. Ce sont ceux pour lesquels on a inventé des machines spéciales ou des dispositifs destinés à favoriser la clarification.

1. Nous avons déjà parlé assez longuement de l'*épuration par la chaux seule* (p. 438). Nous avons rappelé ses principaux avantages et ses inconvénients. Pour la technique générale de l'épuration, la chaux est pour ainsi dire indispensable et, quand on peut l'employer, elle rend les meilleurs services. Avec la chaux, nous sommes à même d'enlever complètement, et sans autre intervention, les métaux lourds qui peuvent se

trouver dans les eaux résiduaires. Une grande quantité de matières organiques légèrement acides ou même neutres forment avec la chaux des composés insolubles et, par conséquent, précipitables. Malheureusement, la chaux dissout les matières albuminoïdes; néanmoins, si l'épuration elle-même laisse à désirer quand les eaux sales sont chargées de certaines substances organiques solubles, on ne connaît pourtant pas de meilleur moyen de clarification que la chaux, en raison de la nature des précipités qu'elle forme. Mais il faut éviter, autant que possible, de l'employer en excès, parce qu'elle détruit les animaux et les plantes et nuit, par conséquent, aux intérêts de la pêche.

Je n'insisterai pas ici sur les divers dispositifs que l'on a imaginés pour mélanger le lait de chaux et d'autres corps chimiques avec les eaux résiduaires. J'en mentionnerai pourtant un, qui est utilisé spécialement dans l'épuration par la chaux, et aussi pour rendre les eaux moins dures.

Les eaux sales, additionnées du réactif approprié, circulent de haut en bas dans une conduite en ciment, disposée en escalier. Les eaux s'y écoulent en tourbillonnant, ce qui détermine un mélange parfait et agrège en même temps les éléments en suspension, favorisant ainsi leur dépôt ultérieur. Ce procédé breveté est celui de MM. Dietrich et Schlichter, de Constance, qui m'ont fourni les figures 19 et 20 que je publie ici.

Les eaux sales sont élevées au moyen de pompes lorsque la pente naturelle est insuffisante. Elles pénètrent, par le tuyau qui se trouve en dessous de *a* (fig. 19), dans la chambre de mélange supérieure, dans laquelle arrive en même temps, par C, le réactif chimique approprié. Elles gagnent le vrai bassin de sédimentation B, après avoir passé par l'escalier sinueux A, qui est pourvu de barrages intercalés. Dans le bassin de sédimentation B sont disposées des cloisons obliques, qui allongent le chemin que les eaux ont à parcourir et auxquelles MM. Dietrich et Schlichter attribuent aussi une action favorable. C'est surtout dans les deux premiers compartiments de

ce bassin que les eaux se décantent. Elles traversent ensuite un filtre, placé à l'entrée du troisième compartiment, et sont presque entièrement clarifiées quand elles passent dans les trois

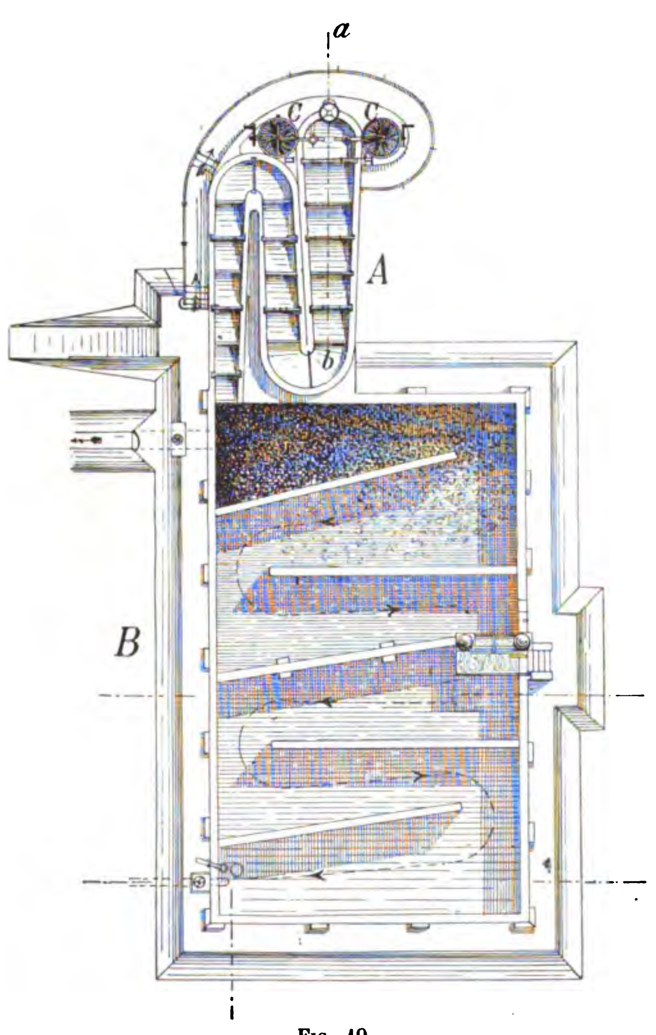


Fig. 19.

derniers compartiments. Lorsqu'elles sortent du dernier, elles sont limpides. Ces différents compartiments vont en diminuant de profondeur, le premier étant le plus profond. Quand les sédiments sont accumulés en quantité suffisante, on peut les enlever du premier compartiment, sous la forme d'une bouillie, comme le montre la flèche à gauche, au-dessus de B, pendant que l'appareil continue à fonctionner.

La figure 20 représente la disposition du « mélangeur à tourbillons ». C'est une coupe de la partie A de la figure 19, menée suivant *a b*. Le tourbillonnement de l'eau est très bien obtenu, comme j'ai pu m'en assurer, « grâce à des murs-déversoirs placés en travers et également distants les uns des autres, ainsi qu'à des barrages intercalés entre ces derniers ». Il est, en outre, favorisé par « une succession de chambres en gradins, dont le radier est incliné vers l'amont ». Nous ne parlerons pas des autres dispositifs qui assurent le mélange, agitateurs, etc.

Le système Schlichter pourrait souvent être avantageusement employé.

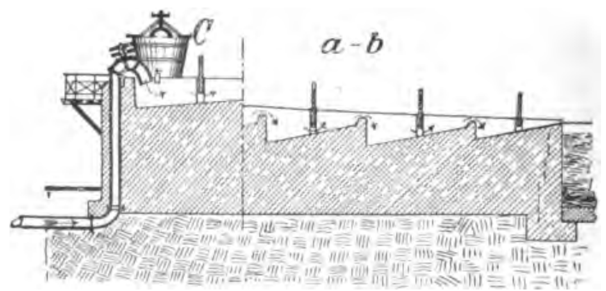


Fig. 20.

2. Le procédé Nahnsen-Müller épure les eaux au moyen de lait de chaux et d'argile fondue (sulfate aluminique et acide silicique soluble), ou bien à l'aide des lessives provenant de la fabrication de l'alun. L'épuration a lieu dans des puits profonds spéciaux que nous décrivons plus loin. On recommande ce procédé pour la clarification des eaux d'égout, parce que le

précipité, qui est formé d'argile et d'un silicate de chaux et d'alumine, se dépose plus rapidement que quand on emploie le lait de chaux seul. Le procédé a été souvent appliqué dans des sucreries, des fabriques de papier, etc.

3. F. Eichen clarifie les eaux d'égout des villes dans des puits profonds spéciaux (voir plus loin). Il utilise, pour une première clarification, le système des filtres flottants, avec un mélange de sulfates encore tenu secret et dont la composition varie au gré de l'inventeur [1]. Cette première clarification est suivie d'une seconde, qui s'effectue au moyen de lait de chaux et qui a spécialement pour but de produire une désinfection. La substance qui provoque la clarification principale donnerait aux boues obtenues une très grande valeur comme engrais; elle contient des phosphates comme matière accessoire.

4. Le procédé de Franz Hulwa jouit d'une réputation bien méritée depuis qu'il est parvenu à épurer d'une façon surprenante les eaux résiduaires de la fabrique de sucre de Strehlen, qui avaient empesté l'Ohle, qui, à cette époque, traversait encore Breslau. Hulwa doit ses succès moins à l'épuration chimique, c'est-à-dire à son mélange de sels de fer, d'alumine, de magnésie, avec addition préalable ou simultanée de lait de chaux et de fibres de bois préparées (cellulose), qu'à sa longue expérience, qui lui permet d'apporter aux installations les modifications qui conviennent à chaque situation spéciale. Nous avons dit que c'est Hulwa qui a introduit, avec le plus grand succès, dans la technique de l'épuration des eaux sales des sucreries, les petits bassins de sédimentation, qu'on peut, à volonté, mettre hors de service, pour les vider quand ils sont suffisamment remplis (voir plus haut).

Dans certains cas, il soumet encore les eaux résiduaires à une épuration par épandage. Bref, Hulwa utilise adroitement tous les facteurs dont on peut se servir, et c'est à cette habileté

[1] *Allgemeine Städtereinigung-Gesellschaft m. b. H.* Wiesbaden.

qu'il doit sa réputation incontestable. Hulwa a appliqué son procédé, le plus souvent avec succès, à la plupart des industries qui fournissent des matières organiques (sucreries, fabriques d'amidon, etc.), ainsi qu'à l'épuration des eaux provenant du nettoiement des villes (hôpitaux, équarrissoirs, abattoirs, etc.). Si, parfois, il n'a pas réussi, c'est que l'épuration chimique des aux putrescibles offre une foule de difficultés imprévues, qu'on ne peut pas toujours surmonter.

5. C. Liesenberg épure spécialement les eaux résiduaires des fabriques de sucre, au moyen d'aluminate double de sodium et de fer, qu'il obtient en faisant fondre, avec de la soude, de la bauxite ou de l'oxyde de fer argilifère. La masse fondue est mélangée à l'eau résiduaire, soit directement, soit après addition de chaux vive ou de chlorure magnésique. Quand il est possible d'utiliser les boues comme engrais, J. Wolfmann recommande de les enrichir en y ajoutant du superphosphate.

Le procédé a été appliqué, à titre d'essai, à l'épuration des eaux vannes des villes (Brunswick).

6. W. Vinauer précipite les eaux des fabriques de sucre, qui ont subi une clarification mécanique préalable, en les portant à une température de 80°C., puis en les traitant par de la chaux vive et du chlorure manganeux. Il fait refroidir les eaux chaudes à l'aide des réfrigérants à contre-courants et en gradins. Il laisse ensuite se déposer les boues dans des bassins de décantation. Le procédé provoque la séparation d'une quantité considérable de substances organiques, sans cependant donner des résultats satisfaisants. Quand la chaux cesse d'agir comme désinfectant, il se manifeste de nouveau des phénomènes de putréfaction fétide, même dans les eaux résiduaires diluées.

7. MM. Friedrich et C[ie] utilisent une préparation acide et une préparation alcaline, principalement pour épurer les eaux résiduaires d'abattoirs. Ils emploient, d'une part, du sulfate de

fer, du chlorure ferrique et de l'acide phénique, et, d'autre part, de l'hydrate aluminique, de l'hydrate ferrique et de la chaux. L'une et l'autre de ces préparations sont employées soit en solution, soit en suspension dans l'eau. La première, à elle seule, n'agit pas comme clarifiant; mais on obtient la clarification quand on les emploie successivement ou simultanément, selon les circonstances. La clarification est très remarquable, et il en est de même de l'épuration que l'on obtient. Mais la présence d'acide phénique, qui est un poison et dont il ne faut se servir qu'en cas de nécessité absolue, rend ce procédé absolument inapplicable, quand on se préoccupe des intérêts de la pêche. On pourrait d'ailleurs supprimer l'emploi de l'acide phénique.

8. Le *procédé au polarite* purifie chimiquement les eaux résiduaires des villes, sans chaux vive, à l'aide de substances particulières, le ferrozone et la polarite, dont nous avons donné la composition page 382. Le ferrozone se compose essentiellement de sels de fer et d'aluminium, plus un peu de charbon ; la polarite se compose d'oxyde ferreux, d'alumine, de magnésie et et d'acide silicique. Lorsque les eaux résiduaires gagnent le bassin de décantation, elles sont additionnées de ferrozone et abandonnées au repos pendant quatre heures : pendant ce temps, le précipité qui s'est formé se dépose. Après cette clarification, l'eau s'écoule sur des surfaces filtrantes particulières : ce sont des réservoirs remplis de gravier, mesurant 30 mètres sur 15 mètres et 1 mètre de profondeur ; au radier de ces réservoirs se trouvent des drains disposés entre de grosses pierres. Au-dessus vient une couche de gros gravier, épaisse de 10 à 15 centimètres ; puis une couche de sable de 10 centimètres et, ensuite, une couche de 30 centimètres de polarite, dont les grains ont le volume d'un pois; elle est recouverte, enfin, d'une couche de sable de 20 à 25 centimètres. Les liquides traversent ce filtre. Après avoir fonctionné quatre semaines, il laisserait à désirer et nécessiterait un repos de huit jours pour être régénéré par l'oxygène de l'air. On suppose

que cette filtration opère en même temps une oxydation considérable, avec formation de nitrates, sous l'influence des bactéries nitrifiantes. On a fait connaître ce procédé en Angleterre il y a quelques années, et il y a été adopté avec empressement parce qu'on lui attribuait des effets excellents. C'est ainsi qu'il a été appliqué dans quelques villes anglaises : Hendon, Roydon, Southampton. Cependant, d'après H.-A. Röckling, l'enthousiasme que l'on avait pour ce procédé serait considérablement diminué et l'on songerait même à l'abandonner. Bromberg avait adopté également ce procédé ; mais, d'après ce que nous apprenons, il y serait déjà abandonné.

Le procédé de Hempel à la pierre bleue semble être le même que le précédent. Il s'en distingue uniquement en ce qu'il est *made in Germany!*

9. Le *procédé A-B-C.* — Ce procédé, imaginé par Sillar et Wigner, n'a plus actuellement qu'un intérêt historique. C'est lui cependant qui a ouvert la voie à l'épuration chimique des eaux résiduaires des villes en Angleterre et a contribué à améliorer essentiellement l'état de salubrité des fleuves anglais. Il doit son nom aux initiales des trois substances principales qui y étaient employées : *alaun, blood and charcoal or clay* (alun, sang, charbon ou argile), mélange destiné à assurer la précipitation et l'épuration. Plus tard, on a encore ajouté de la magnésie, du manganate de potassium, de la dolomite et de l'argile calcinée.

10. Nous signalerons encore le *procédé de Francfort-sur-Mein*, pour clôturer la série de nos exemples de la diversité des procédés chimiques employés pour l'épuration des eaux putrides et spécialement de celles des villes. A Francfort, on a essayé successivement plusieurs réactifs, ce qui permet de conclure, ce nous semble, à la nécessité d'abandonner l'épuration chimique pour se contenter d'une simple sédimentation. L'expérience a démontré surtout que, si cette mesure était adoptée, les eaux du Mein ne seraient pas plus polluées qu'elles ne le sont

actuellement, mais qu'elles constitueraient un vrai soulagement pour les finances de la ville de Francfort, en supprimant l'achat de produits chimiques coûteux. Habituellement, on épure les eaux des égouts de la ville au moyen de sulfate d'alumine et de chaux. Parfois, on opère sans réactifs précipitants ou uniquement avec la chaux (voir les analyses, page 377); mais on emploie aussi le sulfate de fer et la chaux ainsi que l'acide phosphorique et la chaux. Je renvoie à ce que j'ai dit précédemment concernant l'installation des bassins de sédimentation (fig. 7 et 8, p. 414).

L'acide phosphorique et la chaux donnent la meilleure clarification, tandis que le sulfate d'alumine et la chaux produisent le meilleur effet d'épuration au point de vue des substances organiques dissoutes.

Pour terminer, je parlerai encore d'un moyen qui, généralement, s'accompagne d'épuration chimique ou du moins qui est de son ressort.

Je veux parler de l'*absorption*. On sait que nous pouvons débarrasser certaines matières colorantes et certaines matières odorantes de leur couleur et de leur odeur, à l'aide de charbon d'origine végétale ou animale, par exemple. Nous ne discuterons pas la question de savoir s'il faut considérer ce processus comme un phénomène physique ou comme un phénomène chimique. Il n'est pas douteux que, d'après la nature du moyen d'absorption, il s'accomplit aussi des processus chimiques dans ce phénomène [1].

[1] A ce sujet, les praticiens établissent une confusion. J'ai souvent vu employer des morceaux de pierre à chaux dans des caisses en bois ou dans des fosses murées, pour « absorber » les derniers restes de chlore libre, d'acide sulfureux, etc. C'est à tort qu'on s'exprimait ainsi. On aurait dû dire : pour « combiner ». Il convient de faire remarquer que des fragments de pierre à chaux, même en grains, qui baignent de cette façon dans l'eau, ne peuvent nullement combiner les *derniers* restes de chlore. Pour cela, la durée du contact est beaucoup trop courte dans les usines. Cette mesure est uniquement destinée à montrer aux inspecteurs

L'absorption nous vient en aide quand il s'agit de certaines eaux sales, dont l'épuration résiste à tout autre procédé. Il nous faut surtout en parler, parce que P. Degener, à qui nous devons déjà le procédé remarquable à la bouillie de charbon, a imaginé récemment un procédé très efficace. J'ai pu constater par moi-même qu'il fonctionne parfaitement. Ce procédé paraît très important au point de vue de la conservation des poissons dans nos cours d'eau, quand il s'agit, par exemple, d'éliminer des restes de goudron et de phénol, qui sont toxiques, ou de faire disparaître, des eaux résiduaires, des constituants colorants.

P. Degener utilise, comme moyen d'absorption, du charbon réduit en poudre fine. C'est un charbon de provenance et de nature spéciales, qu'il appelle *Pflanzenblutkohle*, ou charbon résultant de la calcination des plantes et du sang. Il met ce produit en suspension dans les eaux sales et le fait agir en milieu neutre, acide ou alcalin, selon les besoins et selon la nature chimique des constituants des eaux à épurer.

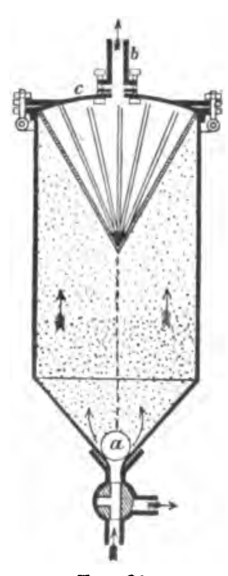


Fig. 21.

On a eu l'obligeance de nous transmettre le dessin du récipient d'absorption qui est utilisé à cet effet (fig. 21).

Les eaux sales, qui ont été mélangées dans des agitateurs avec ce produit, pénètrent dans l'appareil par le robinet à triple voie, sous la soupape à boulet *a*. Elles s'élèvent lentement, en utilisant en même temps le principe du filtre flottant, qui exerce une action absorbante sur les produits à éliminer. Elles traversent ensuite l'ajutage conique

compétents quels soins on prend pour rendre les eaux résiduaires inoffensives. Mais, en réalité, on se préoccupe très peu que le résultat obtenu soit minime.



qui ferme l'appareil en haut et qui est entouré d'un filtre de feutre, et elles sortent, par *b*, filtrées et épurées.

La nature et la concentration des eaux résiduaires exigent, selon le cas, des récipients d'absorption de ce genre en nombre plus ou moins grand, réunis en batterie. Dans certaines circonstances, plusieurs de ces batteries sont nécessaires, lorsque, indépendamment d'une absorption en milieu neutre ou acide, le charbon provenant de la calcination du sang doit encore opérer en solution alcaline.

Le robinet à triple voie permet d'isoler chacun des cylindres, lorsqu'il est nécessaire de vider l'appareil pour régénérer le charbon, qui a perdu ses propriétés absorbantes. Quoique le prix d'achat de ce charbon spécial soit actuellement relativement élevé, l'épuration par le procédé P. Degener est, en réalité, assez économique, quand on considère le nombre de mètres cubes d'eaux à épurer et étant donné que le charbon peut être simplement régénéré sans subir de perte appréciable.

Nous ne pouvons abandonner la description de l'épuration chimique sans rappeler quelques procédés chimiques qui ont été imaginés pour conserver à nos cours d'eau leur pureté. Leur manipulation ne répond cependant pas à la signification ordinaire du terme « épuration chimique ». Par cette expression, nous désignons essentiellement des processus chimiques, qui sont déterminés par des additions aux eaux souillées, tandis que certaines eaux industrielles réclament une intervention chimique plus compliquée. Nous désignerons ces procédés sous la dénomination de :

Processus chimiques pour préserver nos cours d'eau.

Déjà, dans le procédé de Knauer, nous avons vu produire l'épuration à une haute température obtenue artificiellement. Mais il peut se faire que cela ne suffise pas; que nous devions exécuter en vase clos des opérations que nous n'avons coutume de voir faire que dans l'industrie chimique : distillation,

travail à haute température, sous tension de vapeur et à haute pression; enfin, des évaporations et des combustions, pour détruire des constituants dangereux pour nous, dont nous ne pouvons débarrasser les eaux résiduaires par aucun autre moyen.

Nous dépasserions les limites du cadre de notre travail, si nous voulions passer en revue la multitude de ces processus et de ces opérations; mais nous ne pouvons nous empêcher de les signaler, d'autant plus que plusieurs des eaux résiduaires en question, qui exigent une épuration urgente, ne sont pas encore actuellement traitées comme il conviendrait et nuisent par conséquent.

Nous avons surtout en vue les eaux résiduaires, si variées, de l'industrie chimique. Une bonne direction *doit* pouvoir rendre ces eaux inoffensives, alors même que le sous-produit ne couvre pas les frais de leur traitement.

En outre, nous devons songer tout spécialement à l'industrie de la cellulose, à l'industrie du papier, aux teintureries et aux blanchisseries. La technique de l'épuration de leurs eaux laisse encore beaucoup à désirer, et *quand les circonstances l'exigent*, il ne reste plus que l'évaporation pour détruire les facteurs nuisibles qu'elles contiennent.

Certaines eaux résiduaires de l'industrie sucrière, par exemple les eaux de diffusion, résistent aux tentatives qu'on a faites jusqu'ici pour en obtenir une épuration suffisante. Pour ces eaux, la destruction par concentration, suivie d'une combustion, constitue le seul remède dont nous disposions. Nous devrions parler encore de l'utilisation et du traitement de certains résidus des industries agricoles, des dispositifs permettant de travailler et de sécher les drèches, les pulpes et les rognures.

Les villes ne peuvent recourir à l'épandage de leurs eaux sales que là où les circonstances le permettent; mais elles doivent éloigner et traiter leurs immondices dans tous les cas où ces dernières ne peuvent être utilisées directement.

C'est ici aussi qu'il conviendrait de parler des fabriques de

poudrette et des procédés employés pour utiliser industriellement les constituants de ces eaux, qui ont une certaine valeur.

Des procédés qui méritent ici une mention spéciale sont ceux qui peuvent éliminer une partie considérable des substances nuisibles des résidus, mais qui fournissent toujours des eaux résiduaires, dont la nocuité peut se faire sentir dans certaines circonstances.

J'ai en vue les procédés de traitement des excréments humains frais, tels que celui de Buhl et Keller, et le procédé de Liernur avec distillation consécutive de l'ammoniaque, qui n'est appliqué que dans quelques villes de Hollande.

Buhl et Keller, à Fribourg-en-Brisgau, travaillaient les excréments humains, qui étaient retirés des fosses d'aisances par des machines pneumatiques et transportés à l'usine dans des charrettes fermées. Ils les clarifiaient à l'aide d'eaux mères de manganèse et en retiraient l'ammoniaque par l'addition de chaux vive. La boue, déshydratée dans des filtres-presses et desséchée à l'air, était vendue comme engrais. Les résidus liquides de la distillation, contenant de la chaux, s'écoulaient comme eaux résiduaires ou s'infiltraient dans le sol.

Le transport, qui s'opérait dans la petite ville de Fribourg à l'aide de charrettes, se fait, dans le procédé Liernur, en aspirant les excréments à l'aide de machines pneumatiques, dans des conduites coûteuses. Les excréments sont ainsi retirés des fosses d'aisances et amenés dans des réservoirs collecteurs, placés au milieu de la rue. De là ils sont dirigés sur les usines d'épuration, qui sont situées en dehors des villes d'Amsterdam, d'Utrecht et de Leyde. Là, au lieu du procédé dont nous avons parlé plus haut, on se sert de l'appareil distillatoire, très perfectionné, de Feldmann; on ajoute de la chaux vive aux eaux clarifiées et on extrait l'ammoniaque, qu'on fait passer à l'état de sulfate ammonique. Les résidus de la distillation s'écoulent.

Nous ne pouvons décrire avec plus de détails ce procédé intéressant; mais nous ne pouvions pas omettre de le signaler, quoique les efforts de MM. Buhl et Keller aient échoué à Fribourg.

On pourrait parfaitement réadopter ce procédé en opérant le transport des immondices par aspiration, comme le fait M. Liernur, ou bien par compression, comme dans le système Shone; on travaillerait les masses pour en retirer l'ammoniaque.

ÉPURATION ÉLECTRIQUE. — Il serait étonnant qu'à l'époque actuelle on n'eût pas essayé de se servir aussi de l'électricité pour épurer les eaux sales. Des inventeurs anglais et américains notamment se sont efforcés de trouver des procédés d'épuration chimique, applicables partout. On a beaucoup écrit sur ce sujet, sans grand résultat d'ailleurs.

Seuls les procédés de W. Webster et de E. Hermite ont fait créer de grandes usines d'essais en Angleterre (Crossnes, Salford) et en France (le Havre, Lorient, Brest). A Salford, W. Webster [1] fait agir des courants électriques de 50 ampères et 50 volts, en présence de chlorures [2], dans le « canal électrolytique », qui contient les eaux d'égout, dans lesquelles plongent de puissantes plaques de fer servant d'électrodes. Comme résultat d'épuration, on a obtenu, en moyenne, une diminution de 73,6 °/₀ d'ammoniaque combinée à des substances organiques. L'effet bactéricide du procédé est digne d'attention; il n'est pas complet cependant.

J. König a essayé ce procédé; mais il trouve que l'interprétation que W. Webster a donnée des processus qui s'y accomplissent n'est pas exacte. Je n'insisterai donc pas, d'autant plus que tel qu'on l'applique aujourd'hui, ce procédé est trop coûteux, comparé à d'autres qui fonctionnent également bien : il coûte environ fr. 1,25 par tête d'habitant et par an pour une ville.

E. Hermite désire seulement stériliser les eaux résiduaires au moyen de courants électriques de 300 ampères et 6 volts. Il les dilue avec de l'eau de mer ou avec de l'eau à laquelle il a mélangé

[1] D'après H.-A. RÖCKLING, *Gesundheits-Ingenieur*, 1892, XV, 177.
[2] S'il n'y a pas assez de chlorures, on en ajoute.

40 grammes de chlorure sodique et 5 grammes de chlorure magnésique par litre; puis il fait passer le courant, les électrodes étant des plaques de platine et de zinc. Il faudrait laver les latrines et autres installations analogues à l'aide de ce liquide, qui contient à peu près 0gr5 de chlore libre par litre. Les résultats ont été très défectueux et le procédé est trop coûteux : il reviendrait à fr. 1,25 par tête d'habitant et par an.

Au point de vue de la conservation du poisson dans nos cours d'eau, les eaux « épurées » par ces procédés électriques ne sont pas meilleures que des eaux non épurées, parce qu'il peut s'y trouver du chlore libre.

PROCÉDÉS D'ÉPURATION BIOLOGIQUE. — En parlant des procédés d'épuration mécanique et surtout des procédés d'épuration chimique, nous avons vu que l'imagination de l'homme s'est ingéniée à combiner les différents procédés en prenant à chacun d'eux ce qu'il offre d'avantageux. Aussi voyons-nous souvent les procédés biologiques précédés d'un travail préliminaire consistant en une simple clarification mécanique et même en une tentative d'épuration chimique; finalement, c'est grâce aux bons services que les fonctions vitales des plantes et des animaux sont capables de nous rendre, que nous arrivons au but que nous nous étions proposé, c'est-à-dire une épuration satisfaisante de nos eaux résiduaires.

Lorsqu'il se produit des phénomènes biologiques lors de la clarification mécanique et même lors de l'épuration chimique, ils troublent et contrarient ces processus. Cela se conçoit si l'on songe que la clarification mécanique et l'épuration chimique produisent leur effet optimum sur les eaux résiduaires qui contiennent des substances inorganiques, tandis que les processus biologiques que nous nous efforçons d'utiliser pour l'épuration agissent essentiellement sur les matières organiques. Et nous constatons alors que certaines substances inorganiques, quand elles existent en excès, empêchent ou entravent l'action des phénomènes biologiques. Parmi les pro-

cédés biologiques d'épuration, nous comprenons le ***procédé par putréfaction avec filtration intermittente*** et l'***irrigation*** ou ***épandage.***

Le **procédé par putréfaction** est le plus récent des procédés d'épuration directe, bien qu'il convienne de dire qu'il y a plus de quarante ans que sa valeur purifiante est connue. Alexandre Müller [1] a eu le mérite de reconnaître pour la première fois que des eaux chargées de matières organiques (il opérait sur de l'urine diluée), abandonnées à l'air, subissent, sous l'influence de processus de putréfaction, des modifications qu'il devait considérer comme une épuration au point de vue de leurs constituants organiques.

A cette époque, il y a une trentaine d'années, la découverte d'Alex. Müller ne pouvait servir qu'à expliquer certains phénomènes qui se passent sur les champs d'irrigation; car ce n'est que depuis les recherches géniales de Robert Koch que nos connaissances des processus vitaux de la flore microscopique ont été suffisantes pour permettre de les appliquer pratiquement et en connaissance de cause.

Si Alex. Müller n'a pu reconnaître toute la portée de ses observations, il s'est cependant efforcé, par ses écrits, de poursuivre et de favoriser l'étude de ces processus, alors énigmatiques, ainsi qu'à les comprendre.

Le principe fut pour la première fois appliqué par l'anglais J.-W. Dibdin et, après lui, par V. Schweder, qui créa en Allemagne, à Gross-Lichterfelde, la première grande installation, bientôt suivie par d'autres d'ailleurs.

Le procédé consiste essentiellement à provoquer et à laisser s'accomplir des processus de putréfaction, dans des chambres appropriées, à l'abri de la lumière. Pour les eaux d'égout des villes, ces phénomènes sont accomplis par des microbes qui

[1] Avant Müller déjà, il y a une quarantaine d'années, le savant anglais bien connu, E. Franckland, attribuait aux processus microbiologiques un rôle important dans la destruction des résidus organiques.

proviennent des matières fécales. Quand ces fermentations putrides ont duré quelques heures, les liquides sortent de la « chambre de putréfaction » et pénètrent dans les « chambres d'oxydation » que V. Schweder appelait des « filtres ».

Les figures 22 et 23 permettront de comprendre aisément comment les choses se passent, sans toutefois représenter les installations de la station de Gross-Lichterfelde. C'est d'après les expériences faites à cette station, et qui ont permis de simplifier les choses, qu'ont été exécutés et reproduits plusieurs fois déjà les dispositifs que nous allons faire connaître.

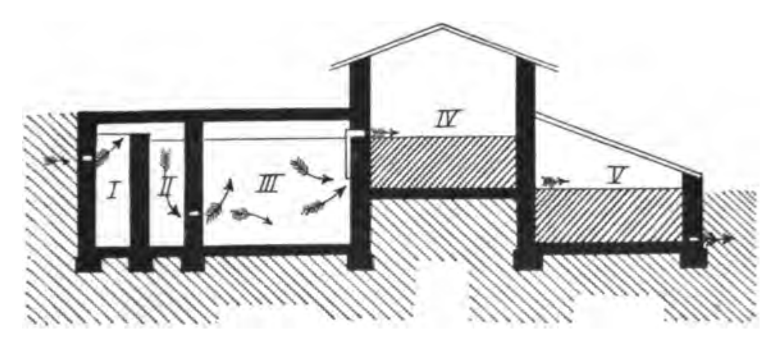


Fig. 22.

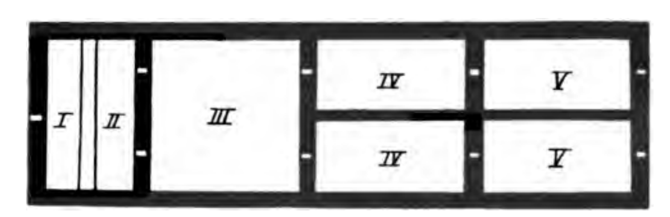


Fig. 23.

L'eau passe de la chambre de putréfaction sur le filtre par un tuyau qui plonge jusqu'à mi-hauteur du contenu de cette chambre, ce qui a pour but de ne laisser passer que les couches liquides qui contiennent le moins de substances déposées ou en suspension. Le fond du filtre (IV) et celui de la

chambre d'oxydation (V), fonds d'ailleurs étanches, portent des drains étroits, tels qu'on les emploie pour le drainage des champs. La conduite collectrice de ces drains traverse les parois de la chambre d'oxydation. Une vanne, disposée dans cette conduite, permet de mettre temporairement hors de service une partie des drains. Au-dessus des drains reposent successivement : une couche de 30 centimètres de gravier grossier mélangé de chaux; une couche de 60 centimètres de coke menu et, enfin, une couche de 30 centimètres de gravier plus fin.

A Lichterfelde, la chambre IV, quand la vanne est ouverte, se remplit en une heure environ; l'air contenu dans les couches de coke et de gravier étant chassé, une aération très active se produit pendant la décharge, qui dure une demi-heure environ.

Les chambres I, II et III fonctionnent d'une façon permanente, tandis que IV et V le font alternativement, pendant quatre heures. S'il y a nécessité, on peut naturellement annexer à la chambre de putréfaction d'autres filtres et d'autres chambres d'oxydation.

Les eaux résiduaires suivent la direction des flèches. Elles entrent, à gauche, dans le dépotoir à sable I, passent en déversoir dans le dépotoir à boues II et, de là, dans la chambre de putréfaction III. Elles arrivent dans cette fosse cimentée étanche au niveau du tiers inférieur de sa hauteur. De là elles s'écoulent sur les filtres IV, alternativement sur celui de droite (voir la fig. 23), puis dans l'une des chambres d'oxydation V, où elles séjournent, au repos, pendant quatre heures environ. Elles sortent à la droite du radier de V, claires, inodores et dans un état tel qu'elles ne subissent plus ultérieurement la putréfaction.

Le procédé (voir p. 385) assure un degré d'épuration digne d'attention et, généralement, une oxydation complète de l'azote, grâce à l'intervention directe de l'oxygène de l'air ou, d'après l'inventeur, grâce à l'action de microbes nitrifiants.

Les poissons supportent parfaitement l'eau qui s'écoule

directement de V, tandis que des carpes, qui vivaient dans un étang situé en aval de l'établissement et qui recevait les eaux non épurées, dépérissaient manifestement.

Les visiteurs, quelque peu compétents, de l'établissement d'épuration de Lichterfelde ont tous attribué une importance prépondérante, dans ce travail d'épuration vraiment remarquable, aux processus de fermentation qui s'accomplissent dans les longues conduites de la canalisation. Mais Schweder croit pouvoir le contester, en se fondant sur les expériences nouvelles qu'il a faites dans ses nouvelles installations. En outre, d'après Schweder, les masses de boues qui s'accumulent naturellement en quantités considérables dans les chambres de putréfaction et d'oxydation ne seraient pas, comme on le croyait généralement, suffisantes pour entraver en quoi que ce soit le fonctionnement de l'installation.

Le procédé, même pour des eaux d'égout, ne doit pas être considéré comme parfait dans toutes ses parties et dans tous ses processus, ainsi que le prouvent des conséquences fâcheuses qu'il a occasionnées. C'est ainsi, par exemple, que M. le Prof^r Hofer nous a appris que, dans l'installation de Lechfelde, destinée à épurer les eaux sales des casernes du grand campement militaire, les filtres à coke ont été obstrués « par les » Zooglées, les Infusoires, les Flagellattes et les Rhizopodes, » qui s'y sont accumulés », sans qu'on ait pu, jusqu'à présent, y remédier.

Cet accident pourrait bien démontrer que les eaux sales fraîches ne subissent pas une putréfaction suffisante au bout de la courte durée de six heures et, en outre, qu'il ne s'agit pas seulement de phénomènes de putréfaction, mais bien d'une forme de l'auto-épuration avec ses processus complexes et variables, sur lesquels on n'a pas encore eu l'attention suffisamment attirée.

Mais cela ne doit pas nous empêcher de considérer comme important ce procédé qui, à notre avis, promet beaucoup. On parviendra certainement à trouver, par cette méthode, un procédé perfectionné d'épuration, non seulement des eaux prove-

nant du nettoiement des villes, mais des eaux, spécialement réfractaires, de certaines industries.

Malgré les avantages résultant de l'économie de place [1], avantages qui entrent toujours en ligne de compte quand il s'agit de villes petites et pauvres mais qui ont besoin d'être canalisées, nous aurions cru que l'épuration par putréfaction aurait donné de meilleurs résultats pour les eaux résiduaires des sucreries et des fabriques d'amidon.

Or, toutes les tentatives faites jusqu'à présent pour épurer les résidus des fabriques de sucre et d'autres substances analogues spécialement, n'ont produit qu'une épuration insuffisante. Seuls les champs d'épandage très spacieux donnent des résultats satisfaisants quand le terrain est convenable. Mais un pareil champ d'épandage n'existe pas partout, sans compter que les frais nécessités par l'acquisition du terrain, le drainage et l'aptation sont élevés.

Il conviendrait donc d'établir et de rechercher les conditions dans lesquelles les germes de la putréfaction peuvent exercer sur les matières organiques leur action destructive et minéralisatrice maxima. Peut-être devrions-nous songer, non seulement à activer l'oxygénation, mais encore à augmenter la température des eaux. Peut-être pourrions-nous même remédier à l'inconvénient qu'il y a de traiter de grandes masses d'eaux résiduaires, en séparant convenablement les diverses eaux et en les traitant séparément et dans les conditions le mieux appropriées à chacune d'elles en particulier. Nous pourrions enlever les eaux résiduaires qu'il suffit de diluer pour les rendre presque inoffensives, eaux dont la masse ne fait qu'augmenter avec les procédés de fabrication actuels. Par contre, nous

[1] La petite usine de Lichterfelde travaillait journellement 70 mètres cubes d'eaux sales, c'est-à-dire les déchets d'environ 1,000 personnes, sur un espace de 400 mètres carrés, y compris la baraque du gardien, les cours et un réservoir à poissons; tandis qu'un champ d'épandage qui devrait traiter cette même quantité d'eaux devrait avoir une superficie de 4 hectares environ.

devrions laisser agir plus longtemps les processus biologiques, car une putréfaction suffisante ne peut s'accomplir en peu de temps.

Alex. Müller et V. Schweder ont fait un premier essai dans la fabrique de sucre de Gröber, qui ne travaille que 2400 quintaux de betteraves. Ils se sont servis des excréments des ouvriers pour faire l'office de ferment : l'épuration de l'ensemble des eaux fut défectueuse, ce qui peut s'expliquer par le fait que le collecteur de toutes les eaux recevait trop tôt une forte proportion de chaux, ce qui avait pour conséquence de tuer les microbes actifs. Si cette addition avait été opérée plus tardivement et si, de cette façon, on avait laissé plus de temps aux microbes pour effectuer leur œuvre, le résultat eût été meilleur. Les eaux résiduaires se déversaient encore après sur un champ d'épandage de 8 à 10 hectares. Malgré cela, l'épuration n'était pas suffisante.

Des résultats beaucoup plus favorables ont été obtenus par le procédé A. Proskowetz, dans les fabriques de sucre de Sadowa (Bohême) et de Sokolnitz (Moravie). Les eaux résiduaires sont d'abord neutralisées au moyen de chaux et, après le dépôt des matières solides, elles arrivent, faiblement alcalines, sur des champs d'épandage drainés d'une façon spéciale, où, après que la chaux libre s'est séparée, les bactéries accomplissent une putréfaction plus complète. Ce phénomène transforme les matières putrescibles de l'eau résiduaire de telle sorte qu'une nouvelle clarification par la chaux détermine une épuration suffisante.

L'**irrigation**, l'**épandage**, effectué dans le but d'épurer les eaux sales riches en matières organiques azotées putrescibles, telles que les eaux d'égout des villes et les eaux provenant d'une série d'industries, n'est certainement pas de date récente. Mais ce qui est récent, c'est l'éloignement des déchets des villes par un courant d'eau dépendant d'un drainage systématique des villes. Il en est de même de l'irrigation à la surface de prairies et de champs spacieux, dans le but d'assainir ces eaux infectées.

Sous les ruines de Babylone, de Ninive et d'autres villes de l'ancienne Égypte, on a trouvé des restes de canalisations souterraines, telles que celles qui étaient en usage à Athènes, à l'époque florissante de l'ancienne Grèce. Les *cloaca maxima*, qui ont été construits à Rome environ cinq cents ans avant notre ère et qui sont encore en usage aujourd'hui, prouvent qu'à une époque très reculée déjà, la vie en commun a appris aux hommes à utiliser les bons offices de l'eau pour éloigner les déchets du voisinage de leurs habitations.

D'un autre côté, l'enfouissement des cadavres, qui remonte haut dans l'époque préhistorique, montre que les propriétés désodorisantes du sol pour détruire les matières organiques étaient connues dès l'antiquité [1].

Des moines italiens ont, au XII[e] siècle, mentionné, pour la première fois dans l'histoire, l'application de l'épandage aux eaux souillées par les déchets des villes [2]. Ils utilisaient, pour l'irrigation des prairies, l'eau du Vettabir, qui recevait les eaux contaminées de la ville de Milan. On ne sait s'ils le faisaient pour augmenter le rendement des prairies, c'est-à-dire pour les fumer, ou bien si c'était dans l'intention d'épurer l'eau.

La petite ville de Silésie, Buwzlau, a le droit de revendiquer le mérite d'avoir créé, dès le XVI[e] siècle, en 1559, le premier champ d'épandage avec *canaux de flottaison*, tel qu'il fonctionne encore à l'heure actuelle dans cette ville, et qui comporte une superficie de 15 hectares.

C'est dans la seconde moitié du XIX[e] siècle seulement qu'on a inauguré en Allemagne — l'Angleterre avait devancé l'Allemagne — les canaux de flottaison combinés à l'épandage (à Dantzig en 1869 ; à Berlin en 1873).

Comme on le reconnaît généralement aujourd'hui, l'épandage se justifie au point de vue sanitaire, contrairement à toute attente. C'est ce que prouve particulièrement l'abaissement de la mortalité dans les villes canalisées qui pratiquent

[1] Moïse connaissait déjà ces propriétés du sol, comme il ressort de la loi morale des Juifs. Liv. V, chap. 23, vers. 12 et 13.

[2] Th. Weyl-Blasius, *Städtereinigung*, S. 2.

l'épandage; tandis que l'utilisation agronomique des constituants comme engrais sur les terrains d'épandage laisse encore à désirer. D'autres moyens (transport) pourraient donner des rendements beaucoup plus importants au point de vue économique.

Il faut reconnaître que les bons résultats fournis par ce procédé doivent être attribués, en toute première ligne, à une canalisation irréprochable, qui doit nécessairement marcher de pair avec l'installation de champs d'épandage, ainsi qu'à une mesure qui en est inséparable, l'alimentation des villes par une eau potable, saine et bonne. Ces deux derniers facteurs, à eux seuls, pourraient à la rigueur suffire pour assainir les villes, et là où des champs d'épandage ne peuvent être établis, ils suffisent en réalité.

En parlant de la nature chimique des eaux vannes des villes, nous avons énuméré les divers constituants de chacune des catégories d'eaux qui les forment. Nous rappellerons que nous les avons classées en *eaux des rues*, *eaux d'usage* et *eaux de lavage*.

La quantité d'eaux des rues (eaux météoriques) dépend de l'intensité des pluies qui tombent dans l'endroit considéré. Les eaux d'usage sont souvent soumises à des variations considérables, selon les mœurs et la richesse des habitants et selon les besoins de l'industrie locale; tandis que nous pouvons calculer approximativement la quantité d'eaux de lavage d'après le nombre des habitants.

La canalisation des villes a maintenant pour but d'éloigner, le plus rapidement possible, de la banlieue des villes, la totalité des eaux sales, à l'aide d'égouts étanches en maçonnerie ou de conduites en fer ou en grès. Les quantités d'eaux pluviales que les égouts doivent charrier sont soumises à de très grandes variations. Cependant la canalisation doit être suffisante pour charrier la quantité maxima des eaux pluviales qui peuvent tomber. Ce n'est malheureusement pas toujours le cas, comme le prouve l'emploi des funestes *vannes de nécessité*. On comprend donc qu'en raison surtout de la pureté des eaux

pluviales, on se soit efforcé de séparer ces masses d'eaux pures, des eaux sales, eaux d'usage et de lavage, afin de rendre moins dispendieuse la construction des égouts. Autant que possible — et c'est bien la règle dans les petites villes canalisées, — les eaux pluviales doivent être conduites dans des canaux à ciel ouvert, et seules les eaux d'usage et de lavage doivent s'écouler dans des conduites souterraines.

Abstraction faite de l'économie qui en résulte pour la construction de la canalisation, cette séparation offre encore un avantage : les eaux sales qui s'écoulent sont plus concentrées, de sorte que, quand les circonstances le permettent, elles sont plus facilement transformées en poudrette. En parlant du procédé Liernur (pp. 383 et 455), nous avons déjà dit ce qu'offrent de particulier certains systèmes de séparation.

Dans les grandes villes, où il était impossible d'établir des conduites à ciel ouvert, le désir de traiter les produits a engagé à employer des conduites souterraines distinctes pour les eaux pluviales d'une part, et pour les eaux d'usage et de lavage d'autre part. C'est le cas notamment dans les petites et les moyennes villes d'Angleterre.

Mais là où on peut établir des champs d'épandage, on a, du moins en Allemagne, renoncé à faire cette séparation, et la totalité des eaux résiduaires mélangées s'écoule dans un égout principal. Dans cet égout débouchent des canaux secondaires, qui, dans les villes, sont construits dans le sous-sol des rues et qui reçoivent, à leur tour, les branchements des maisons. En utilisant les pentes naturelles, ou bien, quand il n'y en a pas, à l'aide de pompes puissantes, on conduit ou on refoule les eaux des égouts vers les champs d'irrigation, où elles sont soumises à l'épuration par épandage.

L'épandage doit épurer mécaniquement les eaux par l'action filtrante du sol, en retenant leurs matières insolubles tenues en suspension. Les constituants du sol doivent améliorer les eaux sales par des transformations chimiques. Enfin, des milliards de microbes, entraînés par les eaux en décomposition, en se multipliant très rapidement, achèvent l'épu-

ration proprement dite; tandis que les végétaux qui croissent sur ces champs assimilent l'excédent des matières nutritives qui leur sont offertes. On comprend donc que tout sol quelconque ne convient pas à l'épandage, et que les terrains un peu perméables sont les meilleurs.

Lorsque la situation et la nature du sous-sol ne sont pas particulièrement favorables, une abondante submersion par l'eau d'irrigation ne tarde pas à obstruer les pores du terrain, qui ne peut plus alors absorber une nouvelle quantité d'eau. Nous devons parvenir à obtenir par le drainage une absorption suffisamment élevée pour éliminer les masses d'eau qui arrivent au champ d'épandage.

Nous n'utiliserions que l'action filtrante du champ, si nous faisions fonctionner continuellement le filtre drainé que constitue ce champ. Les processus chimiques et biologiques que nous désirons voir s'accomplir dans le sol du champ d'irrigation exigent absolument la présence d'oxygène. A côté du drainage qui favorise cette aération, on doit veiller à ce que l'irrigation se fasse par intermittence. Quand le liquide s'est écoulé, l'air peut intervenir dans les oxydations nécessaires et, en même temps, fournir aux microbes aérobies une nouvelle provision d'oxygène qui les rende capables de développer une nouvelle activité vitale.

Si l'on fait abstraction du drainage, peu de terrains sont directement utilisables comme champs d'épandage; la plupart doivent être aptés par des labourages sérieux; mais cette aptation dépend, à son tour, de la manière dont nous voulons irriguer et des plantes que nous voulons cultiver.

Par épandage, le technicien entend le déversement sur le terrain d'une mince couche d'eau retenue par des digues. La configuration de la surface doit, par conséquent, être l'objet d'un soin spécial, si l'on veut obtenir une inondation uniforme. Les surfaces d'épandage doivent naturellement présenter une certaine inclinaison, non seulement pour rendre possible l'inondation, mais encore pour permettre l'écoulement de l'eau.

Jadis on admettait qu'il suffisait, pour épurer des eaux, de les déverser sur une prairie. On s'exagérait la part d'action qui revient, dans l'épandage, aux végétaux, qu'on se représentait comme formant un vaste filtre horizontal, légèrement incliné. Le simple épandage ne suffit pas pour épurer les eaux de lavage. Il n'y a que les eaux des drains que nous puissions considérer comme représentant le résultat définitif de ce procédé d'épuration.

Au point de vue de la configuration naturelle de la surface, on distingue les prairies en pente et les prairies en ados, telles que les montrent les figures 24 et 25.

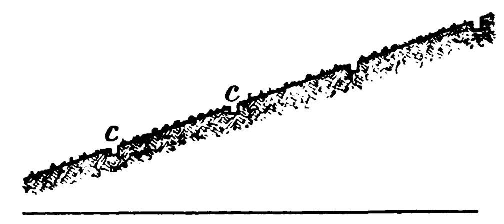


Fig. 24. — Prairie en pente.



Fig. 25. — Prairie en ados.

Les terrasses (fig. 26) constituent une autre forme de configuration de la surface, que l'on doit souvent adopter.



Fig. 26. — Terrasses.

Sous nos latitudes, l'épandage n'est possible qu'en été, quand les plantes peuvent contribuer en même temps à l'épuration,

alors qu'en hiver cependant nous devons aussi éconduire nos eaux d'égout hors des villes. C'est pour ce motif que la technique de l'irrigation des eaux d'égout a imaginé le soi-disant épandage avec barrages. En réalité, ce n'est plus un épandage; mais on accumule les eaux jusqu'à ce qu'il soit possible de les utiliser, dans l'intention d'obtenir une infiltration aussi profonde que possible, si possible jusqu'aux drains.

L'épandage avec barrages, sous sa forme la plus simple, représente un champ ou un pré, horizontal ou légèrement incliné, que l'on transforme en bassin, en étang, par une digue disposée tout autour. On le remplit d'eau à épurer, qui s'infiltre alors dans le sol. Nous pouvons considérer cette forme comme un bassin de décantation perméable, en supposant qu'il n'intervienne dans le processus que la seule action filtrante du sol. Si nous voulons obtenir une épuration par des bactéries du sol et de l'air, nous devons nécessairement drainer le bassin et ne l'employer que par intermittences.

Sur les terrains d'épandage des villes canalisées où il existe de ces bassins à barrages, nous avons toujours affaire à des nstallations à demeure sur des champs canalisés; mais les conditions du terrain n'offrent pas toujours des surfaces suffisamment étendues dans le même plan.

Dans ce cas, nous devons aussi, pour le simple épandage avec barrages, recourir à la disposition en terrasses, qui se présente alors comme le montre la figure 27.

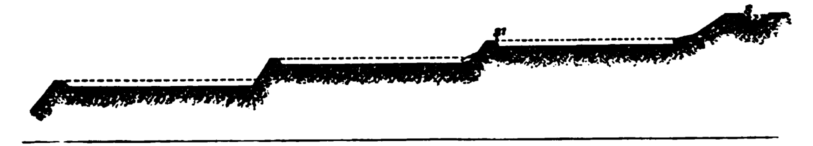


Fig. 27. — Terrasses pour l'épandage avec barrages.

Beaucoup de plantes ne supportent pas d'être immergées temporairement, ni même de l'être constamment; leurs racines doivent seulement rester humides. C'est pourquoi l'on dispose ces champs en billons séparés par des sillons de pro-

fondeur convenable, qui servent à amener l'eau. Dans ce cas, le champ d'épandage en terrasses présente une configuration semblable à la figure 28.



Fig. 28. — Terrasses en billons.

Les eaux dégout provenant du nettoiement des villes s'écoulent vers les prairies d'épandage dans des conduites qui ont parfois plusieurs kilomètres de longueur. Sur ce trajet, il s'accomplit dans les eaux desp rocessus de putréfaction préalables aux phénomènes biologiques qui se passent sur le champ d'épandage; ils donnent naissance à un nombre considérable de microbes, qui continueront et entretiendront l'épuration. Les eaux d'égout amènent aussi sur le terrain d'épandage de nombreuses substances, qui sont déjà décomposées par ces processus préliminaires : le phénomène de minéralisation dans le sol est donc facilité par ce travail préparatoire.

Il en est autrement dans beaucoup d'établissements industriels, qui ont aussi besoin de champs d'épandage pour épurer leurs eaux résiduaires, mais qui les ont établis à proximité de leurs usines. Dans ce cas, ce travail préliminaire important ne s'effectue pas à l'intérieur des conduites à ciel ouvert, par exemple dans les fabriques de sucre et d'amidon. Ici nous devrons exiger des champs d'irrigation très étendus, afin de faire durer le plus longtemps possible le processus de l'épandage et d'augmenter ainsi son efficacité, naturellement avec le concours du drainage, qui doit toujours exister. Ou bien, nous nous servirons d'un drainage aussi intensif que possible, sur une surface relativement restreinte, quand il est impossible d'établir un champ d'épandage spacieux.

Dans les industries agricoles, dont la période de travail ne coïncide pas avec la période de végétation, nous devons

renoncer au concours des plantes agricoles, et alors l'effet de l'épandage, surtout quand le sol convient peu, est généralement médiocre. Même l'action filtrante des prairies d'irrigation diminue notablement en hiver, d'après mes propres observations. Cela se comprend, car pendant les étés secs, le sol se crevasse; des taupes, des souris, des larves, des grillons et d'autres animaux y creusent des galeries, par lesquelles les eaux résiduaires, déversées l'hiver, arrivent très facilement aux joints des drains, ce qui nuit nécessairement au résultat que devrait fournir l'épandage. Dans ce cas, l'épandage en sillons grossiers ou rugueux est un moyen très convenable pour remédier à ces inconvénients, comme j'ai eu souvent l'occasion de l'observer. L'oxydation des substances qui se sont déposées et qui y ont été entraînées s'effectue également dans ces surfaces rugueuses, qui naturellement ne peuvent pas être utilisées d'une façon permanente, mais doivent être laissées en repos après quelques jours de travail, afin de permettre le renouvellement de l'air. Une gelée qui survient alors est utile, parce que, à chaque nouvelle irrigation, elle modifie l'état de la surface. Dans des installations artificielles, on doit éviter des parcelles trop petites, afin de faciliter le travail de la charrue et la moisson.

Installations de clarification et d'épandage avec drainage, d'après G. Abel.

L'eau résiduaire traverse d'abord les étangs de clarification K (I et II), qui peuvent être utilisés alternativement, pour les besoins des vidanges. Elle y dépose la majeure partie de ses matières solides, éventuellement par une épuration chimique, et elle arrive alors sur le champ d'épandage, divisé en dix-huit parties, ayant une inclinaison totale de $1^m,4$. Les diverses parties, disposées en terrasses, ont une pente très légère et sont entourées de digues hautes de $0^m,10$. Plus la pente du terrain est forte, plus nombreuses doivent être les petites digues intermédiaires (hautes de $0^m,06$) qui subdivisent chaque partie du champ, afin d'obtenir une installation permettant d'arrêter l'eau de la façon le mieux appropriée à la configuration du terrain. De cette façon, on réduit les travaux

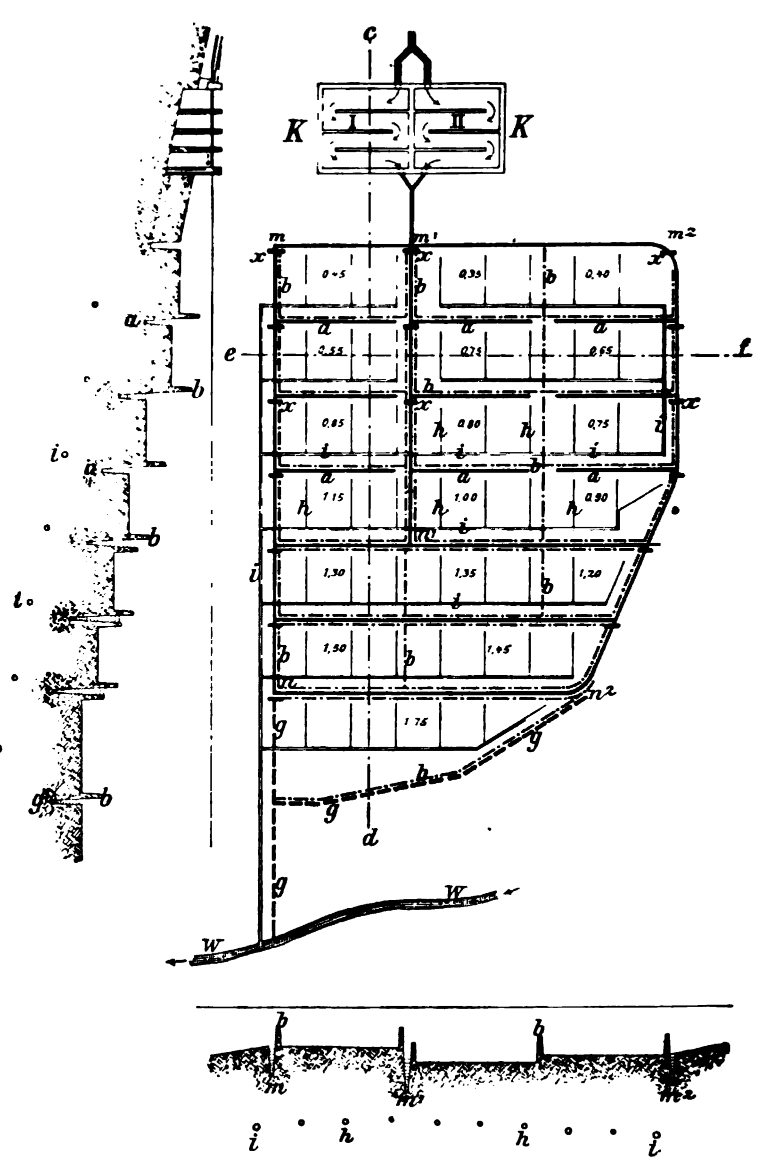


FIG. 29.

d'aptation, toujours coûteux. L'eau est amenée par les trois rigoles principales *mn* dans les rigoles latérales *aa*.

b —·—·— digues.
h ———— drains absorbants.
i ════ drains collecteurs.
La figure de gauche est une coupe suivant *cd*.
La figure inférieure est une coupe suivant *ef*.
Les chiffres indiquent, en centimètres, les profondeurs.

L'installation de clarification et d'irrigation que nous venons de décrire (fig. 29) a été imaginée par G. Abel, et exécutée souvent sur le même principe. Elle est assez intéressante, parce qu'elle peut être modifiée selon la configuration du terrain.

En raison de l'importance du drainage dans la pratique de l'épuration, nous reproduisons encore (fig. 30) une installation de G. Abel, qui fait très bien comprendre la disposition des drains absorbants et des drains collecteurs (voir l'explication de la figure 29).

Beaucoup de fabriques ne disposent pourtant pas de constructions bien disposées. Si les conditions du sous-sol sont convenables, ou du moins s'il existe des étendues de terrains drainées, le procédé Georges-H. Gerson peut rendre inutiles des travaux d'aptation coûteux et assurer cependant l'épuration.

Gerson construit, au moyen d'une large charrue, des digues disposées en croix, comme le montrent, en plan et en coupe, les figures 31 et 32. Il subdivise ainsi le terrain, qui naturellement ne doit pas avoir une forte pente, en bassins plus ou moins spacieux selon les besoins.

Si, avec une charrue qui n'attaque que les parties superficielles, nous creusons des sillons grossiers dans la partie moyenne des bassins, comme le montre, à la coupe, la figure 34, des dispositions de ce genre conviennent parfaitement pour recevoir et épurer de grandes quantités d'eaux sales.

Lorsqu'il n'existe pas de grands champs de ce genre et qu'il n'est pas possible d'établir des champs d'épandage satisfaisants, un projet de Georges-H. Gerson peut encore rendre des

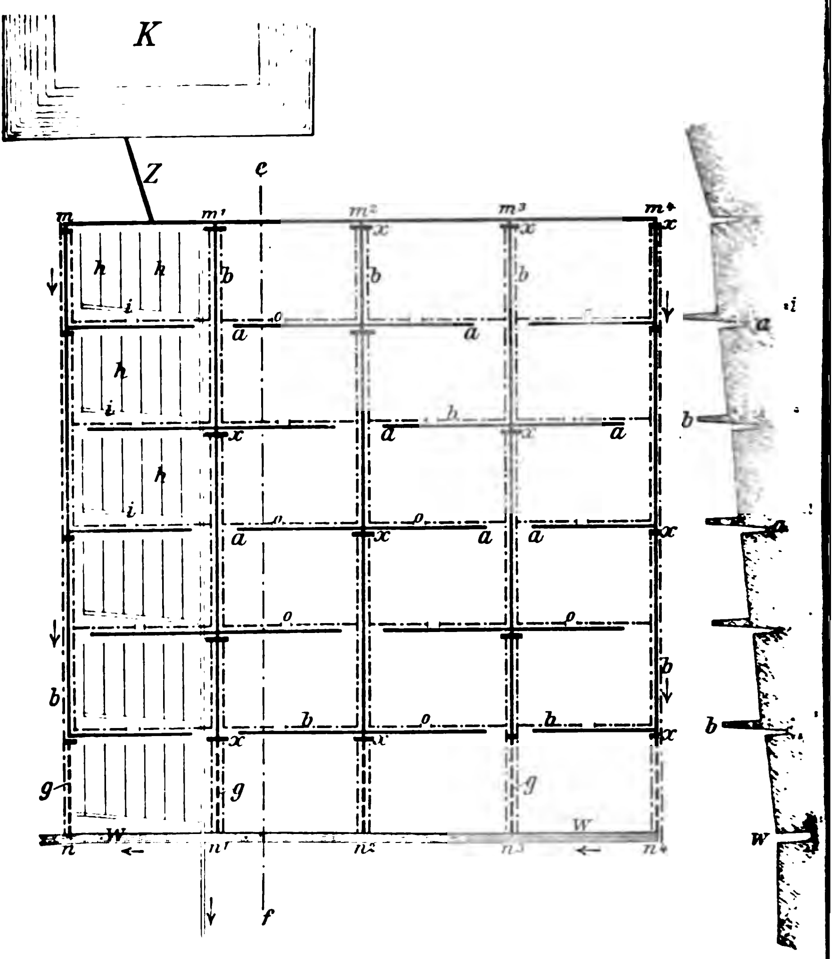


FIG. 30. — Dispositions des drains absorbants et des drains collecteurs. A droite, coupe suivant *ef*.

services précieux. Gerson augmente l'efficacité des champs d'épandage relativement petits par un drainage serré. La figure 33 montre cette disposition : il est inutile de l'expliquer davantage pour la faire comprendre.

L'installation semble être appelée à répondre à un projet de Gerson, qui veut pouvoir faire profiter des eaux d'égout les voisins du champ d'épandage. A cet effet, il doit exister, aux limites du champ d'épandage commun et apté, des bouches à eau auxquelles, au moyen d'ajutages simples, on puisse adapter les tuyaux destinés à arroser les champs des particuliers voisins.

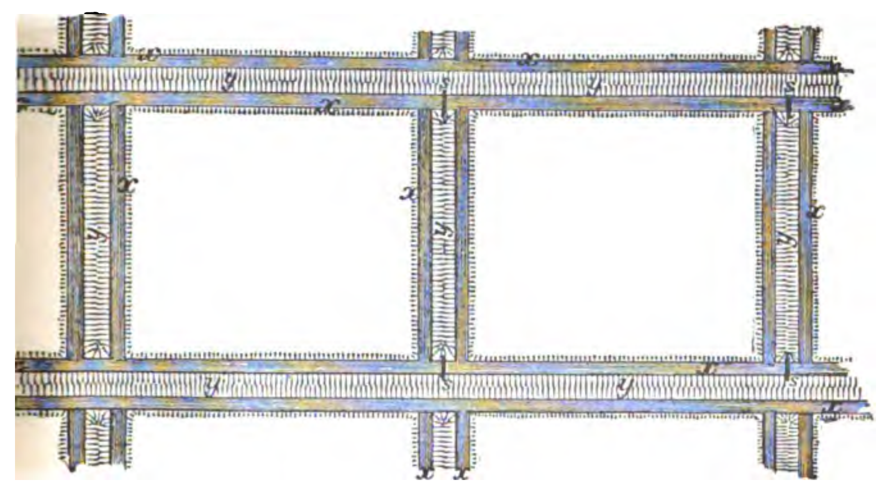


FIG. 31. — Plan des bassins entourés de digues construites à la charrue. *y, y,* digues; *xx,* sillons; *ss,* pieux de soutènement en fer.

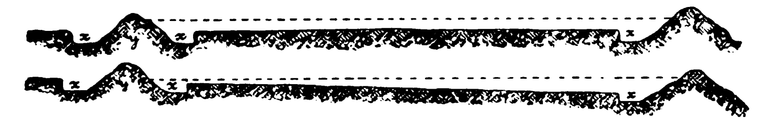


FIG. 32. — Coupe d'un bassin. — *y, y,* digues; *x, x,* sillons.

On comprend qu'en donnant à ces champs voisins, à une époque favorable de l'année, la configuration représentée par la figure 31, on puisse utiliser les eaux d'égout à leur profit.

Récemment (1897), on a fait à Eduardsfelde, à 3 kilomètres de Posen, un remarquable essai d'utilisation des eaux de

Posen chargées de matières fécales. Il a donné les meilleurs résultats d'après les indications du propriétaire du domaine d'Eduardsfelde, M. Noebel.

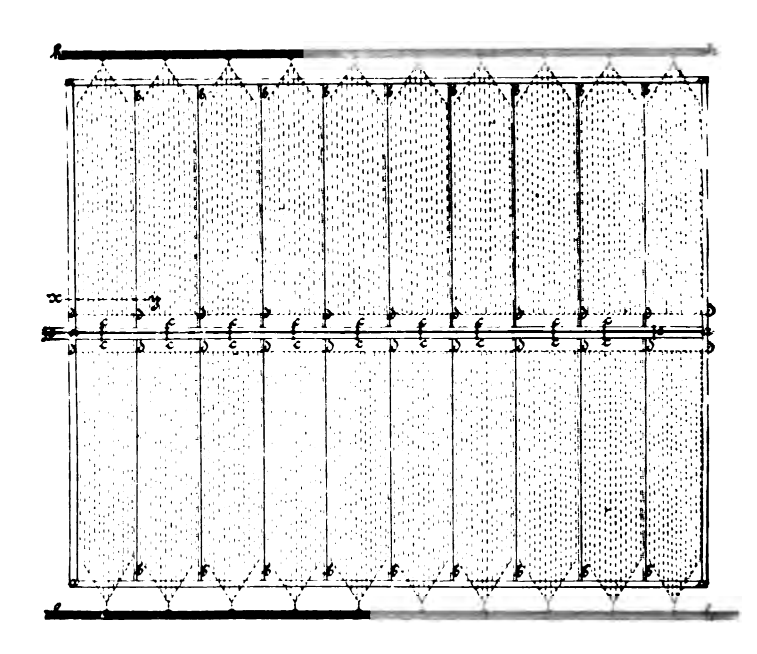


Fig. 33. — Plan.

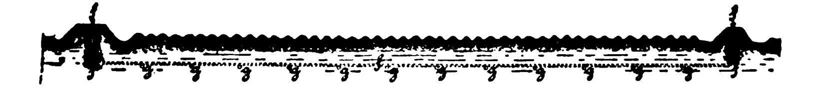


Fig. 34. — Coupe du premier bassin, suivant *xy*.

Installation pour l'épuration d'une quantité maxima d'eaux résiduaires sur un minimum de surface.

hh, fossés d'écoulement; *aa*, digues périphériques; *ee*, conduites d'amenée en fonte; *bb*, digues transversales; *cc*, bouches à eau; *ff*, tuyaux d'aérage.

L'usine [1] qui donne la pression est reliée au domaine d'Eduardsfelde par une conduite longue de 3,300 mètres et ayant 150 millimètres de diamètre. A cette conduite de pression est réunie une autre conduite, de 100 millimètres de diamètre, longue de 2,900 mètres, qui distribue les matières fécales aux différentes parties du champ. Sur cette dernière conduite sont rattachés, à 300 mètres de distance les uns des autres, des branchements munis d'une fermeture à vis. Si l'on veut déverser des matières fécales sur une partie du champ, on visse, sur le branchement correspondant, un tuyau mobile (de 600 mètres dans le cas qui nous occupe) et constitué par une série de tubes de fer, ayant chacun 10 mètres de longueur et un calibre de 52 millimètres. Avec ce tuyau, on peut atteindre l'extrémité de la partie du champ qu'on désire arroser.

Au moment de s'en servir, on adapte à ce tuyau de fer un tuyau en caoutchouc de 20 mètres de longueur, muni d'une lance. On arrose à volonté la partie du terrain que l'on peut atteindre; puis on raccourcit le tuyau mobile de fer en enlevant un certain nombre des tubes qui le constituent, et l'on arrose de nouveau. Un ouvrier peut, de cette façon, fumer par jour 3 hectares. On recommande surtout de faire ainsi un léger arrosage à la surface.

Dans certains cas, les industries agricoles, comme je l'ai constaté, chassent leurs eaux résiduaires sur des champs en pente et les répandent soit au moyen de tuyaux, soit au moyen de rigoles simplement creusées à la charrue. Elles utilisent ainsi ces eaux pour fumer les terres. Lorsque les dispositions de terrain permettent d'établir une seconde station de ce genre, on peut utiliser avec profit de grandes quantités d'eaux sales, tout en les rendant inoffensives par l'infiltration dans le sous-sol.

Nous devons renoncer à parler ici, d'une façon plus détaillée,

[1] D'après les publications de R. Noebel, d'Eduardsfelde, et du Dr H. Thiesing, de Berlin, 1897.

de l'importance de l'irrigation au point de vue de l'économie rurale en général et des diverses plantes en particulier.

Nous ajouterons, cependant, qu'il peut arriver que non seulement le rendement des champs d'irrigation soit nul, mais que l'épandage puisse même ne fournir aucun profit économique. C'est le cas surtout quand nous employons ce procédé dans le but d'enlever les derniers restes de chlore libre ou de substances analogues, en d'autres termes, quand nous utilisons l'immersion de la surface d'un terrain uniquement au point de vue de la technique de l'épuration, pour permettre aux gaz de s'échapper, pour favoriser des oxydations ou des processus analogues et que l'action filtrante du sol ne joue dans ces processus qu'un rôle accessoire. Dans ce cas, il ne peut être question d'utiliser le terrain dans un but agricole; des substances nuisibles aux plantes s'y trouvent accumulées depuis des années, et cet épandage cesse alors naturellement d'être un procédé biologique d'épuration.

Autoépuration [1]. — Maintenant que nous avons fait connaître les voies et moyens, les appareils et procédés dont nous disposons pour épurer les eaux, nous devons bien avouer

[1] Je me fais un plaisir de remercier M. le Prof[r] D[r] O. KIRCHNER, de Hohenheim, et M. le Prof[r] BR. HOFER, de Munich, dont la compétence spéciale en matière de biologie des organismes inférieurs est bien connue, pour le précieux concours qu'ils m'ont prêté dans la rédaction des parties du présent chapitre qui touchent à la botanique et à la zoologie. Ils ont bien voulu aussi choisir et me fournir la plupart des figures qui sont reproduites dans cette partie de mon ouvrage. M. le D[r] B. SCHORLER, de Dresde, a eu la bonté de reviser récemment et de compléter, en tenant compte des travaux plus récents, la partie botanique de ce chapitre, qui était rédigée depuis plusieurs années déjà. Avec l'assentiment de l'auteur et de l'éditeur, j'ai emprunté quelques autres figures (fig. 58, 86, 87 et 91) à l'ouvrage de M. le Prof[r] KURT LAMPERTS, *Leben der Binnengewässer*. M. le Prof[r] D[r] K. ECKSTEIN, d'Eberswalde, a eu l'amabilité d'exécuter pour moi quelques autres figures encore. Enfin, je dois à mon fils Curt une autre série de copies. Je tiens à leur exprimer, à tous, mes meilleurs remerciements.

qu'il n'en est pas un d'entre eux qui, seul ou combiné avec d'autres, soit en état de transformer directement une eau souillée en ce que nous appellerons *une eau à poisson*, c'est-à-dire une eau dans laquelle puisse vivre et prospérer le poisson. Les eaux vannes, que l'on a épurées à leur sortie des villes ou des fabriques, ne peuvent, comme telles, être considérées comme étant des eaux à poisson; mais elles le deviennent par l'*autoépuration*.

L'autoépuration des eaux troubles et, par conséquent, polluées, constitue l'un des phénomènes les plus remarquables et les plus complexes. Il est connu depuis les temps les plus reculés; mais ce n'est qu'à notre époque que l'on est parvenu à décomposer en ses divers facteurs l'effet général de ce processus et à reconnaître l'action des diverses forces qui y interviennent pour expliquer leur enchaînement dans l'ensemble du processus.

Quand on ne l'observe que superficiellement, ce phénomène semble très simple. Une eau sale, trouble, colorée ou fétide, abandonnée à elle-même, devient, après un temps plus ou moins long, claire, inodore et relativement pure, même au point de vue de sa composition chimique. Depuis les millions d'années que s'effectue la circulation perpétuelle de l'eau, l'autoépuration s'exécute dans les cours d'eau qui, en s'écoulant dans les lits qu'ils se sont creusés à la surface du globe, entraînent tout ce qu'ils ont pu charrier de substances inorganiques fixes ou solubles, puis, plus tard, de substances organiques et organisées, se salissant en emportant ces corps étrangers, pour se purifier ensuite, grâce au concours de diverses forces naturelles. Les eaux claires et pures, en apparence, de l'Océan nous apparaissent comme le produit ultime de ces actions puissantes et continues. Nous faisons nécessairement abstraction des organismes qui peuplent l'Océan et nous n'envisageons que son « eau ». L'eau de mer nous montre ainsi, dans sa composition chimique, pour ainsi dire le résultat final de l'action possible de l'autoépuration, c'est-à-dire que dans ses éléments constitutifs, nous voyons la délicatesse de

l'autoépuration, les limites de ce qu'elle peut produire. D'une façon générale, le travail de l'autoépuration s'arrête aux éléments constants de l'eau de mer. Il faut que se produisent des circonstances et des processus tout spéciaux pour que ces éléments deviennent libres par autoépuration. C'est ce que nous montrent, comme terme final, les gisements de sel, tandis que les bancs de matières sédimentées de diverse nature, que l'on considérait d'habitude autrefois comme des impuretés de l'eau, nous retracent la voie suivie par l'autoépuration.

De ce que nous venons de dire, il résulte clairement déjà que, pour l'autoépuration des eaux, nous devons tout d'abord compter avec les phénomènes mécaniques que nous avons appris à connaître lorsque nous avons parlé des bassins de décantation artificiels, et qui nous ont montré qu'il y a lieu d'établir une distinction entre la précipitation des substances fixes tenues en suspension et celle des substances qui précédemment étaient dissoutes. Conformément aux lois de la mécanique et de la physique, l'autoépuration, dans ses effets visibles, est, en toute première ligne, un phénomène purement mécanique. Nous voyons les divers éléments tenus en suspension se séparer selon le volume de leurs grains et leur poids spécifique et selon la vitesse du courant, qui est très variable dans les cours d'eau naturels. Plus l'eau est tranquille et plus les matières qu'elle tient en suspension sont grosses et lourdes, plus facilement et rapidement ces matières se précipiteront.

Lorsque nous avons décrit les impuretés naturelles des cours d'eau, nous avons appris à connaître, comme éléments constitutifs de nos cours d'eau naturels, une foule de substances, les plus diverses au point de vue de leur nature chimique, qui, soit dissoutes, soit en suspension, sont amenées, en plus ou moins grandes proportions, dans nos eaux courantes par les sources et les eaux souterraines, en même temps que des éléments de la surface du sol y sont entraînés. La haute pression et la température qui règnent dans les grandes profondeurs agissent sur les éléments qui en proviennent, non seulement en augmentant la solubilité de substances peu

solubles, mais encore en provoquant des transformations chimiques de certains corps minéraux, qui se continuent ensuite sous la pression atmosphérique et la température normales de la surface du sol.

Ces éléments dissous dans les eaux de source et les eaux souterraines, y compris les minimes quantités de substances que dissolvent normalement les eaux sur leur parcours à ciel ouvert, ne sont pas essentiellement des impuretés. En effet, des éléments en solution provenant d'eaux d'origine différente réagissent les uns sur les autres, en déterminant, comme nous l'avons dit en parlant de l'épuration chimique, la formation d'autres substances qui sont solides et peuvent alors se précipiter, cette réaction étant facilitée par l'influence de l'air atmosphérique, c'est-à-dire de l'anhydride carbonique et de l'oxygène.

Nous voyons donc intervenir alors comme second facteur de l'épuration, ce que nous avons précédemment appelé l'épuration chimique : la réaction d'éléments solubles des eaux accompagnée de la formation de substances précipitables, sous l'influence éventuelle des gaz de l'air capables d'agir chimiquement. Le nombre de ces réactions chimiques qui peuvent se produire est relativement minime. Sous l'action de l'anhydride carbonique de l'air atmosphérique, l'eau de pluie ou de source, en coulant sur des roches contenant du carbonate calcique, forme du bicarbonate calcique, qu'elle dissout; des roches primaires, nous voyons s'écouler des silicates alcalins solubles et de petites quantités de sels aluminiques; aux roches contenant du gypse, l'eau enlève des sulfates calcique et magnésique. Si nous citons, en outre, comme produits d'oxydation provenant de gisemonts de minerais et de charbon, le fer combiné à l'acide sulfurique ou déjà transformé en bicarbonate sous l'influence de carbonates soumis à l'action de l'anhydride carbonique, puis de l'acide sulfurique libre, du chlorure sodique et parfois du chlorure magnésique, nous aurons signalé les *principaux* agents de l'autoépuration chi-

mique. Les signes visibles de ces transformations se montrent sous la forme de dépôts de gypse, de carbonate calcique, d'hydroxyde ferrique, qui se déshydrate dans la suite, de sels aluminiques basiques et, enfin, d'acide silicique précipité. C'est à peine si nous pouvons signaler encore de minimes quantités d'acide borique, de borates, de composés de l'iode et du brome, de phosphates et, dans les régions volcaniques, parfois d'acides libres. Mais, au point de vue quantitatif, c'est à peine si ces substances méritent qu'on en tienne compte. Dans les eaux courantes surtout, nous devons pourtant mentionner spécialement l'acide carbonique toujours actif, soit que nous admettions qu'il provienne de l'air atmosphérique, soit que nous attribuions sa provenance à des sources carboniques siégeant dans le lit des rivières. Cet acide carbonique redissout les monocarbonates précipités, mais pas encore sédimentés, et engendre ainsi de nouvelles substances capables d'intervenir dans de nombreux processus d'épuration et de précipitation. Si nous insistons spécialement sur ce fait, c'est qu'il permet d'expliquer pourquoi l'autoépuration chimique, pour ainsi dire complète, qui s'effectue en un point déterminé d'une eau courante, peut s'y interrompre ou même cesser partiellement, grâce à l'intervention de circonstances naturelles, pour se remanifester, en d'autres points situés en aval, sous l'action de l'arrivée de substances actives. Quand nous aurons enfin rappelé que des variations de température, le froid et la chaleur, agissent aussi sur les phénomènes chimiques, nous en aurons fini avec les phénomènes chimiques de l'autoépuration, avec ceux du moins qui sont produits par des substances inorganiques, les seules que nous considérions pour le moment.

L'activité industrielle, avec ses déchets qui souillent les cours d'eau et les infestent, complique naturellement l'autoépuration chimique et souvent même exerce sur elle une influence très puissante : nous devons nous y attendre, si nous songeons à la multiplicité des matières premières que l'industrie emploie

et transforme. Les phénomènes chimiques qui se manifestent alors sont pourtant essentiellement les mêmes que ceux qui s'accomplissent dans les conditions naturelles. Seulement, les atteintes que l'homme porte à la composition naturelle des cours d'eau sont souvent telles qu'il n'est pas rare de leur voir détruire l'équilibre normal des phénomènes qui s'y accomplissent. Dans ce cas, l'excès des substances nuisibles déversées trouble et retarde l'autoépuration au point que, pour s'accomplir, elle exige une étendue beaucoup plus considérable du cours d'eau et, par conséquent, beaucoup plus de temps.

Ce n'est pas sans intention que nous n'avons pas parlé jusqu'ici des processus chimiques qui s'accomplissent sous l'action des impuretés de nature organique et organisée. C'est que dans ces phénomènes intervient presque inévitablement l'influence d'un autre facteur de l'autoépuration : je veux parler des processus biologiques.

L'étude de l'*autoépuration biologique*, dans ses premiers résultats scientifiquement établis, ne remonte qu'à peu d'années. C'est l'auteur anglais Letheby qui, en 1869, a parlé pour la première fois de ce phénomène. Mais la seconde « Rivers pollution Commission », instituée entre autres pour soumettre l'autoépuration biologique à son contrôle, ne l'a pas admise.

Lorsque plus tard, en 1880, Tidy, ancien assistant de Letheby, se déclara partisan de la théorie de ce dernier, Alex. Müller, M. von Pettenkofer et Franz Hulwa avaient, dans l'intervalle, publié des travaux scientifiques qui, incontestablement, avaient fait progresser la connaissance de l'essence de l'autoépuration biologique, de sorte que, si nous ajoutons que des recherches importantes ont été entreprises ultérieurement, en Allemagne, par H. Buchner, L. Eisenlohr, G. Frank, L. Lauterborn, L. Pfeiffer, W. Prausnitz, H. Schenk, B. Schorler, E. Salkowsky, A. Wernich et d'autres encore, nous avons le droit de prétendre que l'Allemagne a pris une part très active à la solution de ces questions énigmatiques.

Alexandre Müller a eu spécialement le mérite de signaler pour la première fois l'intervention d'organismes microscopiques dans l'autoépuration d'eaux contenant de l'urine et provenant d'un canal d'irrigation; il a reconnu qu'ils participent à l'épuration spontanée. Mais il restait réservé à la bactériologie moderne et aux études récentes sur la faune microscopique d'établir clairement l'enchaînement remarquable des phénomènes biologiques qui ont lieu dans ce processus.

Si nous avons dit précédemment que la série des phénomènes de chimie minérale qui peuvent intervenir dans l'autoépuration chimique est limitée, nous devons pourtant reconnaître que leur nombre est notablement plus considérable si nous tenons compte en même temps des produits de la décomposition et de la nutrition des végétaux et des animaux inférieurs, ainsi que des résidus de l'activité humaine.

Les plantes, les fragments de végétaux et les cadavres d'animaux qui, par voie naturelle, arrivent dans les cours d'eau et constituent, à notre point de vue, des impuretés de l'eau, s'y décomposent, sous l'influence des organismes de la putréfaction, en éléments plus simples. Au nombre de ces éléments, il en est un qui ne fait jamais défaut et qui est même un signe de ces processus de putréfaction : c'est le sulfide hydrique, produit de la décomposition des substances protéiniques. Ce gaz joue alors, dans l'épuration chimique minérale, un rôle très important : sous son influence notamment, des métaux lourds qui ont été amenés dans les cours d'eau, dans les circonstances que nous avons mentionnées plus haut, sont transformés en composés insolubles. Tel est le cas surtout pour le fer, qui se transforme en sulfure ferrique, insoluble, qui se précipite et se dépose définitivement. Il se forme encore, entre autres, des produits acides de la nutrition qui manifestent leurs propriétés dissolvantes en augmentant la teneur de l'eau en sels alcalins et alcalino-terreux solubles.

Ces sels d'acides faibles et, par conséquent, facilement

décomposables, coopèrent, à leur tour, à l'œuvre d'épuration chimique et mécanique; en effet, ils subissent des phénomènes d'oxydation et se transforment en composés insolubles, qui se sédimentent ensuite. D'autre part, des fragments de végétaux entrés en putréfaction dans une eau dormante et contenant alors des acides humiques peuvent aussi exercer une grande action sur l'autoépuration. C'est ainsi, par exemple, que B.-G. Klien [1] a trouvé, dans des eaux de cette nature, à Ellerbrücken, 312 milligrammes d'acides humiques par litre, c'est-à-dire des quantités si importantes qu'elles doivent contribuer puissamment à l'autoépuration.

Les substances organiques dissoutes que contient l'eau servent de nourriture à une foule de bactéries. Nous devons donc — comme nous l'avons dit déjà à propos de l'épuration par irrigation ou épandage — attribuer aux bactéries un rôle important dans l'autoépuration, en ce sens qu'elles absorbent les substances organiques solubles et facilement décomposables, pour se les assimiler et édifier leur propre corps ainsi que ceux de leur descendance. Des Algues et une foule de Champignons microscopiques agissent dans le même sens, et les Phanérogames interviennent aussi, jusqu'à un certain point, dans l'accomplissement du même phénomène.

Tous les facteurs de l'autoépuration que nous avons signalés jusqu'ici, nous les avons déjà mentionnés, en parlant de l'irrigation, pour expliquer le mode d'action de ce système de purification des eaux. Mais dans les eaux libres intervient pour la première fois un facteur qui coopère à la destruction des impuretés organiques : je veux parler de la faune. C'est en ces derniers temps seulement, à l'aide de méthodes nouvelles, que l'on est parvenu à prouver que des animaux inférieurs participent à l'autoépuration. On a, en effet, appris à connaître combien sont abondants, tant en ce qui concerne le nombre des espèces que celui des individus, les animaux qui vivent dans l'eau, et l'on a acquis des notions importantes relative-

[1] J. König, *Verunreinigung der Gewässer*, S. 2. D'après la *Königsberger landwirthschaftliche Zeitung*, 1877, S. 175.

ment à leur mode d'existence, à leur pouvoir de reproduction et à leur nourriture.

On a reconnu que des processus biologiques doivent coopérer essentiellement à l'autoépuration des cours d'eau contenant des substances organiques et des débris de matières organisées, et qu'à ces processus la faune prend une part remarquable.

Tous ceux qui possèdent des aquariums et y ont déposé des moules et des Gastéropodes, savent que maints animaux sont capables de préserver les eaux de la putréfaction, c'est-à-dire qu'ils peuvent détruire des substances putrescibles dans l'eau. On a même songé à utiliser cette action pour assainir des ports pollués, en y établissant des bancs d'huîtres. Mais si, d'une façon générale, on connaît bien cette action, si frappante et si facile à observer, qu'exercent sur les eaux souillées les moules et les Gastéropodes, par contre, jusqu'en ces dernières années, on a méconnu le rôle, autrement important dans ses résultats, que jouent, dans l'épuration des cours d'eau, de nombreux animaux inférieurs et notamment les animaux unicellulaires, les Protozoaires, qui y existent par milliards. Ils interviennent dans l'autoépuration, non seulement en se nourrissant directement de débris organiques en voie de décomposition, mais encore en se nourrissant de bactéries, de Champignons et d'autres végétaux saprophytes microscopiques qui pullulent dans les cours d'eau et qui, eux-mêmes, ne sont, en fait, que la transformation en substance végétale vivante de particules de substances organiques décomposées. Bon nombre de ces minuscules organismes de nature animale ou végétale vivent librement dans les cours d'eau et servent, à leur tour, de nourriture à des animaux plus élevés mais de très petite taille encore, qui vivent librement dans l'eau et constituent, eux-mêmes, la pâture d'espèces plus volumineuses et plus fortes. Le dernier terme de cette sorte d'échelle des aliments qui se rencontrent dans l'eau douce est le poisson. Il existe en effet ainsi, à ce point de vue, une chaîne complètement fermée, dont les divers chaînons successifs dépendent les uns des autres, depuis

la matière organique inanimée jusqu'au poisson. En définitive, non seulement tout animal aquatique ou tout organisme vivant dépend de l'existence d'êtres vivants plus faibles que lui qui lui servent de nourriture, mais le nombre des organismes les plus inférieurs dépend, à son tour, de la quantité disponible de substance organique inanimée.

Si nous supposions — ce qui ne se réalise guère d'une façon absolue dans la nature — que l'ensemble des facteurs externes du développement des végétaux, ce que l'on appelle le climat d'un lieu, c'est-à-dire la quantité de pluie, de chaleur solaire, d'ombre et de froid d'hiver, persistassent absolument les mêmes pendant plusieurs années et qu'en outre les substances chimiques nutritives employées par la végétation pour se développer fussent chaque année restituées complètement au sol, nous pourrions admettre qu'une prairie naturelle, qui pousserait dans ces conditions sur un bon terrain, produirait chaque année non seulement la même quantité de substance végétale, mais le même nombre d'individus de chaque espèce végétale qui y croîtrait ou tout au moins le même poids de récolte de chacune de ces espèces.

Les classiques expériences de culture de Paul Wagner ne laissent aucun doute à ce sujet.

De même, dans certaines circonstances, qui, dans les profonds lacs subalpins par exemple, peuvent se trouver réalisées pendant quelques années consécutives, nous pouvons admettre que, dans une eau à poissons, il règne entre les différents êtres de la chaîne dont nous avons parlé plus haut, une adaptation telle que la valeur absolue de la faune aussi bien que sa composition relative soient, tant en espèces qu'en poids, les mêmes aux mêmes époques de l'année. C'est ainsi que, dans une lettre qu'il m'a adressée, Bruno Hofer m'a dit avoir constaté, par exemple, en 1891 et en 1892 et à la même époque de l'année (en septembre), que les eaux du lac de Constance contenaient, par 60 mètres cubes d'eau, les quantités de plankton suivantes, à la profondeur que nous allons indiquer :

Profondeur exprimée en mètres.	Quantité de plankton exprimée en centimètres cubes.	
	En 1891.	En 1892.
0,1	0,2	0,4
4,5	9,0	10,0
5,0	14,0	14,0
7,0	14,0	14,0
9,5	10,0	11,0
15,0	15,0	9,0
18,0	7,0	6,0
20,0	12,0	12,0

Ce sont, avec de légères différences, des valeurs si concordantes qu'elles nous paraissent un excellent argument à l'appui de notre hypothèse de l'adaptation réciproque. Car, comme l'ajoute Hofer, si la quantité de plankton varie selon la profondeur, c'est que les diverses espèces sont vraiment stratifiées dans l'eau et les valeurs sont tout autres à d'autres mois de l'année, parce qu'alors existent dans les diverses couches d'autres animaux, soit que certaines espèces, sous l'influence de la température de l'eau, vont habiter d'autres couches, soit que certaines espèces disparaissent complètement à certaines époques de l'année, laissant momentanément à d'autres espèces la place qu'elles reprendront plus tard, après la période de repos nécessitée par leur développement. Cette alternance régulière des espèces et cette disparition régulière selon la raison du plus fort, mais avec survivance suffisante des diverses espèces, à l'état d'individus capables de se reproduire ou de germes pondus, pour assurer la réapparition, à une époque déterminée, du nombre d'individus nécessaire pour rétablir l'équilibre de la totalité des organismes, c'est ce qu'accomplit, avec une régularité parfaite, un cours d'eau qui est pour ainsi dire à l'état de repos, c'est-à-

dire dont les facteurs de nourriture se trouvent dans un état d'équilibre; c'est ce qu'accomplit un cours d'eau qui, comme nous le disions plus haut, se trouve dans « certaines conditions », c'est-à-dire dans lequel font défaut des facteurs extérieurs perturbateurs.

Plus le cours d'eau est petit et plus ses rapports extérieurs sont variables, comme c'est le cas notamment pour les eaux courantes, dont le niveau est soumis à des variations naturelles, plus aussi s'accomplit de façon variable cette éternelle lutte pour la vie entre ses habitants. En tout cas cependant, il n'y régnera pas d'irrégularité marquante aussi longtemps que, dans cette lutte, que nous pensons être déterminée par l'arrivée d'impuretés dans l'eau, l'homme, avec les déchets qu'il déverse d'habitude d'une façon irrégulière et par intermittence, ne trouble pas l'équilibre, parfois même au point de faire disparaître toute vie active, dans le sens où nous l'entendons. Si nous supposons que le préjudice porté par l'homme n'aille pas jusqu'à la disparition complète de toute vie active dans le cours d'eau qu'il pollue, nous pourrons nous le représenter aussi bien comme nuisible à telle espèce que comme favorable au développement de telle autre espèce; mais, dans l'un comme dans l'autre cas, il détermine une perturbation dans l'état d'équilibre qui permettait, dans l'eau en question, l'accomplissement d'une autoépuration biologique régulière.

Supposons, par exemple, que des eaux résiduaires ferrugineuses d'une fabrique d'objets métalliques, déversées dans un cours d'eau, y déterminent la destruction de l'une des espèces constituant la chaîne des organismes qui y vivent, tout en ne causant aucun préjudice aux autres espèces de cette chaîne. Il est certain que, parmi ces dernières, celles qui sont plus fortes et peut-être plus élevées que l'espèce exterminée, subiront aussi un préjudice, du fait de l'absence de nourriture, jusqu'à ce que la nature répare directement le tort causé par la destruction de cet organisme, en introduisant dans le cours d'eau une autre espèce plus résistante à l'action des sels de fer et pouvant servir de nourriture aux autres, ou bien jusqu'à ce

que, par l'action du sulfide hydrique et de l'anhydride carbonique formés par la décomposition du corps des individus tués, le fer nuisible puisse être rapidement éliminé, de telle sorte que, dans la partie dévastée du cours d'eau, se rétablissent des conditions favorables à la vie.

Nous pensons même qu'il peut se faire que l'arrivée d'eaux industrielles dans une rivière exerce une influence favorable à la prospérité de certaines espèces.

Admettons, par exemple, qu'une laiterie déverse dans un cours d'eau ses résidus contenant du sucre et des protéines. Les bactéries de la putréfaction et des moisissures y trouveront une abondante nourriture et pourront s'y développer considérablement. La partie du cours d'eau où pulluleront ces bactéries innombrables sera alors peuplée par des espèces bactéricoles beaucoup plus nombreuses et plus abondantes qu'il n'en contient dans les circonstances ordinaires. La progéniture de ces espèces plus élevées augmentera donc et favorisera une surproduction d'autres organismes, qu'à la longue certains poissons pourront s'habituer à utiliser régulièrement. De cette façon, par une augmentation de la nourriture totale, nous pourrions arriver à rendre plus abondants les poissons de cette rivière, bien que certaines espèces de poissons, qui y vivaient naguère, pourront avoir disparu progressivement de ses eaux.

Mais c'en est assez des exemples que nous pouvons imaginer pour chercher à expliquer des faits basés sur des observations jadis inexplicables.

Bornons-nous à admettre que toute atteinte portée par l'homme au processus de l'autoépuration biologique en trouble *a priori* l'équilibre, mais que la nature dispose de voies et moyens pour puiser, dans son trésor de travailleurs de toutes sortes, des troupes nouvelles capables de continuer l'œuvre commencée et de la faire aboutir à un résultat heureux, bien que cette œuvre subisse, dans son accomplissement, de graves interruptions momentanées.

Qu'il nous soit maintenant permis de parler de cette armée de collaborateurs possibles et d'examiner de plus près les

êtres et les actions des organismes, tant végétaux qu'animaux, qui exécutent l'œuvre d'épuration des eaux ou, tout au moins, qui peuvent y contribuer. Commençons par les organismes de nature végétale.

Dans l'autoépuration des eaux interviennent activement notamment des végétaux aquatiques, qui se nourrissent de substances organiques (plantes saprophytes) et utilisent ces substances, en partie pour édifier leur propre corps, en partie pour respirer, ces phénomènes biologiques transformant en composés inorganiques les substances organiques ainsi utilisées. Ce mode de nutrition s'effectue surtout chez les Champignons qui vivent dans l'eau. Comme ces organismes sont ordinairement de très petite taille et souvent même extrêmement petits, ceux qui, parmi eux, jouent le rôle principal, sont ceux qui sont le plus répandus et qui se reproduisent en extrême abondance et très rapidement. C'est de ces derniers que nous nous occuperons tout d'abord.

Ils appartiennent au groupe des Schizomycètes ou Bactéries et au groupe des Phycomycètes.

Les Schizomycètes, dont les représentants sont répandus partout, dans l'eau, dans le sol et à la surface de tous les corps qui se trouvent dans l'air, existent aussi, nombreux et variés, dans l'eau souillée. Ils occupent le premier rang parmi les organismes actifs de l'autoépuration de l'eau, parce qu'ils déterminent diverses décompositions, généralement très énergiques, de substances organiques.

Les Schizomycètes les plus élevés, que l'on réunit dans la famille des Bactéries filamenteuses (*Leptotricheæ*), sont caractérisés par ce fait que leurs cellules, cylindriques, extrêmement grêles et petites, restent généralement unies en filaments très longs, qui, souvent fixés sur un corps étranger par une de leurs extrémités, sont tantôt simples, tantôt ramifiés, tantôt pourvus, tantôt dépourvus d'une mince enveloppe tubuleuse et transparente. Les genres qui nous intéressent spécialement sont : *Cladothrix*, *Sphaerotilus*, *Leptothrix* et *Beggiatoa*.

Le genre *Cladothrix* se caractérise par la ramification nette

de ses filaments. Ces filaments sont, chacun pour son propre compte, fixés par leur extrémité inférieure. Ils sont logés dans une enveloppe incolore très mince et à peine visible ; ils sont relativement très longs et présentent des ramifications d'égale épaisseur et assez distantes les unes des autres. Une espèce, *Cladothrix dichotoma* Cohn (fig. 35), existe partout dans l'eau souillée. Elle s'y fixe sur des êtres vivants ou sur des corps inanimés, en formant souvent de petites touffes sales. Elle existe fréquemment en si grande abondance, qu'elle peut jouer un des rôles les plus importants dans l'autoépuration de l'eau. Ses filaments, absolument incolores, ont une épaisseur de $0^{mm}003$ environ. Ils consistent en une série longitudinale de cellules deux ou trois fois plus longues, dont il est pourtant souvent difficile de distinguer les limites, ce qui fait que le filament ne paraît pas subdivisé en cellules.

FIG. 35.
Cladothrix dichotoma.

Les filaments de *Sphaerotilus* sont aussi ramifiés, mais leurs ramifications sont serrées. Ils sont logés dans une enveloppe mucilagineuse et se réunissent de façon à former des touffes ramifiées, qui constituent de gros flocons gluants. Les cellules de *Sphaerotilus natans* Ktz (fig. 36) sont longues de $0^{mm}004$ à $0^{mm}009$ et épaisses de $0^{mm}003$. Cette espèce forme souvent de grosses masses floconneuses, de coloration blanchâtre, jaunâtre ou brunâtre, que l'on trouve dans l'eau polluée et surtout dans les eaux de fabriques.

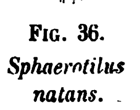


FIG. 36.
Sphaerotilus natans.

Les autres genres que nous avons cités plus haut forment des filaments non ramifiés, qui, dans le genre *Leptothrix*, ont une enveloppe et

sont fixés par leur extrémité inférieure, tandis que chez les *Beggiatoa*, ils sont libres et dépourvus d'enveloppe. Le genre *Leptothrix* présente d'assez courts filaments pourvus d'une mince enveloppe; ils forment un délicat enduit mucilagineux à la surface de corps placés dans l'eau. *Leptothrix parasitica* (fig. 37) vit fixé surtout sur des Algues filamenteuses de plus grande taille. Ses filaments n'ont que 0mm001 d'épaisseur; leur longueur atteint d'habitude jusqu'à 0mm1. Ils sont incolores et pourvus d'une enveloppe très délicate, qui, avec l'âge, se colore en brun. Le genre *Beggiatoa* est plus important et, en ce qui concerne son action sur les eaux souillées, on peut le placer à peu près sur la même ligne que *Cladothrix dichotoma*. Les filaments, incolores, des espèces appartenant à ce genre sont dépourvus d'enveloppe. Ils sont très flexibles, très souples et vivent librement dans l'eau, où ils tournoient en exécutant un mouvement tout particulier, dont la cause n'est pas encore bien connue, passant ainsi les uns entre les autres et entre d'autres corps. Dans ce mouvement, l'une des extrémités du filament est dirigée en avant et décrit un mouvement circulaire pendant que le filament tout entier exécute une rotation autour de son axe longitudinal. Dans les cellules du filament, que l'on distingue souvent difficilement, on voit des granulations très réfringentes, à contours nets. Ces granulations sont du soufre provenant du sulfide hydrique que des organismes en décomposition dans l'eau engendrent par putréfaction du plasma de leurs cellules et que le Champignon filamenteux absorbe pour l'oxyder et l'éliminer finalement à l'état d'acide sulfurique. Ce mode de nutrition très remarquable, que Winogradsky a découvert, donne aux *Beggiatoa* l'énergie vitale qu'acquièrent tous les autres animaux et végétaux par l'absorption et l'oxydation d'une nourriture contenant du carbone. L'espèce de *Beggiatoa* la plus commune est

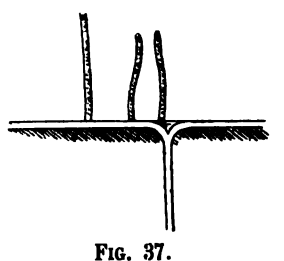


FIG. 37.
Leptothrix parasitica.

B. alba Trev. (fig. 38), qui vit non seulement dans les eaux sulfureuses et les marais, mais fréquemment aussi dans des cours d'eau pollués, où elle forme souvent un enduit mucilagineux, sale, blanc ou crayeux, sur des objets qui se trouvent au fond de l'eau, parfois même à de grandes profondeurs. Ses filaments, dans lesquels on ne distingue que difficilement les limites des cellules, sont généralement recourbés et ont $0^{mm}003$ à $0^{mm}004$ d'épaisseur.

Les autres Schizomycètes, qui flottent librement dans l'eau et s'y trouvent souvent en grande abondance, ne se voient pas à l'œil nu et appartiennent aux familles des bactéries hélicoïdales, des bactéries en bâtonnets et des bactéries sphériques.

Dans les deux premières de ces familles, les cellules sont cylindriques ou oblongues. Elles sont un peu recourbées dans la famille des bactéries hélicoïdales, de telle sorte que les filaments, qui souvent sont aussi formés par des cellules disposées en une série les unes à la suite des autres, sont onduleux. Dans d'autres cas, les cellules elles-mêmes sont très longues et spiraloïdes. Ces cellules hélicoïdales ne sont pas flexibles dans le genre *Spirillum* Ehrbg., mais elles sont rigides et sont douées d'un mouvement actif, dû à la présence d'un cil vibratile à leurs deux extrémités. Les espèces de ce genre que l'on rencontre le plus fréquemment dans l'eau sale sont :

Spirillum Rugula Wint, cellules longues de $0^{mm}006$ à $0^{mm}016$, épaisses de $0^{mm}0005$ à $0^{mm}0025$, recourbées ou onduleuses ;

Spirillum undula Ehrbg. (fig. 39), cellules longues de $0^{mm}008$ à $0^{mm}016$, épaisses de $0^{mm}001$ à $0^{mm}0015$, qui décrivent de 1 $^1/_2$ à 4 tours de spire ;

Spirillum volutans Ehrbg. (fig. 40), cellules longues de $0^{mm}025$ à $0^{mm}03$, épaisses de $0^{mm}0015$ à $0^{mm}002$, pourvues de granulations foncées de soufre.

Fig. 38. *Beggiatoa alba.*

Le genre *Spirochaete*, qui ressemble au précédent, s'en distingue par le fait que ses cellules, longues et hélicoïdales, sont très flexibles et ondulent pendant qu'elles exécutent leur mouvement rapide.

Spirochaete plicatilis Ehrbg. (fig. 41) a ses cellules très fines, longues de 0mm11 à 0mm225, épaisses de 0mm0005, présentant de nombreuses ondulations délicates. Cette espèce se meut dans l'eau sale avec la rapidité de l'éclair.

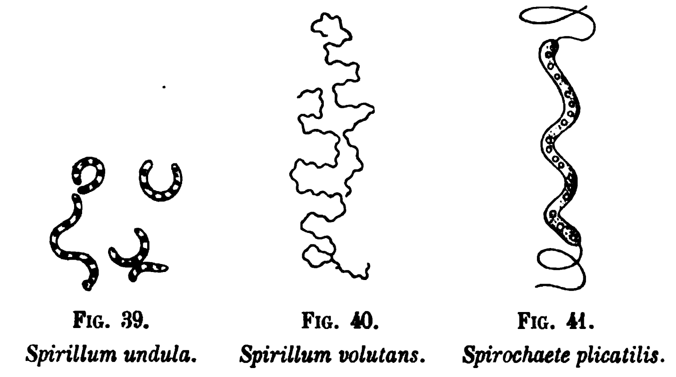


Fig. 39. *Spirillum undula.* Fig. 40. *Spirillum volutans.* Fig. 41. *Spirochaete plicatilis.*

Dans la famille des bactéries en bâtonnets, on range les Schizomycètes, dont les cellules cylindriques (en forme de bâtonnets courts) ou allongées sont rectilignes et vivent, soit isolément, soit unies, par petit nombre, en filaments courts. Cependant, parmi ces formes, il en est qui parfois aussi constituent des filaments plus longs (qui sont alors fixés par leur base), ou bien qui sont formées par des cellules sphériques. A ce groupe appartiennent notamment les deux genres *Bacterium* et *Bacillus*, qui se distinguent à peine l'un de l'autre. Le premier est caractérisé par ses cellules elliptiques ou fusiformes, dans lesquelles on n'a pas encore observé la formation des spores. Le second est caractérisé par ses cellules en bâtonnets, souvent unies en chaînes ou en filaments courts et à l'intérieur desquelles se forment des spores.

Partout est répandu dans l'eau le *Bacterium Termo* Cohn

(fig. 42). Ses cellules sont courtes et cylindriques; leur longueur atteint 0mm0015 à 0mm002 ; leur épaisseur, 0mm0005 à 0mm0007. Ou bien elles sont réunies, sans mouvement, en masses gélatineuses; ou bien elles nagent librement dans l'eau, leur mouvement étant dû à la présence, à leurs deux extrémités, d'un cil vibratile extrêmement fin, dont on ne peut déceler l'existence qu'à l'aide de méthodes spéciales de préparation et en s'aidant de très forts grossissements.



Fig. 42.
Bacterium Termo.

Parmi les Schizomycètes, c'est le genre *Bacillus* qui, dans l'état actuel de nos connaissances, est représenté par le plus grand nombre d'espèces. Dans nos cours d'eau, il en vit aussi de nombreuses espèces que l'on ne peut généralement pas distinguer par des caractères purement morphologiques, mais que l'on ne peut caractériser qu'à l'aide de cultures artificielles dans des conditions de végétation déterminées.

La plupart des espèces, semblables en cela à celles du genre *Bacterium*, se meuvent activement, soit à certains moments de leur existence, soit pendant toute la durée de leur vie, ces mouvements étant produits par des cils vibratiles. Les formes généralement répandues dans l'eau, où on les rencontre en très grande quantité, et qui peuvent jouer un rôle dans l'épuration des eaux sales, semblent être les suivantes :

A. — Espèces incolores.

Bacillus Megatherium De Bary. — Cellules longues de 0mm01, épaisses de 0mm0025, souvent réunies en chaînes. Mouvements actifs. Spores elliptiques, au nombre de 4 ou 5 dans une même cellule.

Bacillus Ulna Cohn. — Cellules longues de 0mm002 à 0mm003, épaisses de 0mm0015 à 0mm002, vivant isolément ou réunies en

chaînes par groupes de 2 à 4. Spores, longues de $0^{mm}002$ à $0^{mm}0028$, épaisses de $0^{mm}001$.

Bacillus subtilis Cohn (fig. 43). — Cellules longues de $0^{mm}006$, épaisses de $0^{mm}001$ à $0^{mm}0015$, vivant isolément ou réunies en chaînes. Cette espèce se meut activement. Avant la sporulation, elle s'accroît en longs filaments. Spores elliptiques, longues de $0^{mm}0012$, épaisses de $0^{mm}0006$.



Fig. 43. — *Bacillus subtilis*.
a, cellules mobiles isolées.
b, filament en sporulation.

Bacillus ureae Miquel. — Cellules longues de $0^{mm}002$, épaisses de $0^{mm}0008$ à $0^{mm}001$, vivant isolément ou réunies en filaments, par groupes de 2 à 6.

Bacillus Hydrocharis Trev. — Cellules longues de $0^{mm}002$, épaisses de $0^{mm}0005$ à $0^{mm}0006$.

Bacillus tremulus Koch. — Cellules longues de $0^{mm}002$, épaisses de $0^{mm}0005$ à peine, douées d'un mouvement vibratoire particulier. Les spores, beaucoup plus épaisses que les cellules, font saillie latéralement sur elles.

B. — Espèces colorées.

Ces espèces sécrètent une matière colorante; elles produisent, par conséquent, en cultures pures, des taches colorées sur leur substratum.

Bacillus ruber Frank. — Forme des taches rouge-minium. Cellules longues de $0^{mm}006$ à $0^{mm}008$, épaisses de $0^{mm}001$; mouvements actifs. Vivent isolément ou unies par groupes de 2 à 4.

Bacillus sanguineus Schroeter. — Forme des masses rouge-sang dans l'eau sale. Cellules longues de $0^{mm}005$ à $0^{mm}006$, épaisses d'environ $0^{mm}001$. Mouvements actifs.

Bacillus erythrosporus Cohn. — Les cellules cylindriques, allongées, s'accroissent avant de former leurs spores, qui sont ovales, en de longs filaments, qui constituent d'abord une

pellicule rouge-rouille, pour se résoudre plus tard en une poussière rouge brun sale, qui tombe au fond de l'eau.

Bacillus viridi luteus Trev. — Forme des taches jaune vert. Cellules courtes et douées de mouvements, qui vivent isolément ou unies par groupes de 2 ou 3; elles sont souvent rétrécies en leur milieu.

Bacillus putridus Trev. — Forme des taches vertes. Cellules longues de $0^{mm}001$ à $0^{mm}0014$, épaisses de $0^{mm}0009$. Vivent isolément et sont douées de mouvements actifs.

Bacillus fluorescens Trev. — Forme des taches vert vif. Cellules longues de $0^{mm}002$ à $0^{mm}003$, épaisses de $0^{mm}0007$; généralement isolées et immobiles.

La dernière famille des Schizomycètes comprend les formes dont les cellules sont toujours sphériques ou ovoïdes et ne possèdent pas de mouvement propre : c'est la famille des bactéries sphériques.

Dans le genre *Micrococcus*, ces petites cellules sphériques vivent isolément ou constituent des amas irréguliers de forme très variable. Pour autant qu'on le sache, les spores se développent à l'intérieur des cellules. Dans l'eau sont répandues les espèces suivantes, que l'on ne peut distinguer les unes des autres qu'à l'aide des mêmes méthodes qui permettent de caractériser les bacilles :

Micrococcus crepusculum Cohn (fig. 44). — Forme des enduits mucilagineux, épais, blancs ou brunâtres. Cellules sphériques, dont le diamètre est d'environ $0^{mm}002$.

Fig. 44. *Micrococcus crepusculum.*

Micrococcus viticulosus Flügge. — Forme d'épaisses masses gélatineuses incolores. Cellules ovoïdes, longues d'environ $0^{mm}002$, épaisses de $0^{mm}001$.

Micrococcus luteus Cohn. — Forme des masses mucilagineuses jaune clair, qui plus tard deviennent jaune citron. Cellules elliptiques, qui peuvent atteindre jusqu'à $0^{mm}001$ de longueur.

Micrococcus versicolor Flügge. — Forme des taches puncti-

formes qui, d'abord blanchâtres, deviennent ensuite jaunes. Cellules isolées, sphériques, d'un diamètre de 0mm0006 à 0mm0007.

Micrococcus flavus Trev. — Forme des taches jaunâtres. Cellules plus grandes que celles de *M. versicolor*, souvent unies par groupes de 2 ou 3.

Micrococcus aurantiacus Cohn. — Forme des masses mucilagineuses de couleur orangée. Cellules elliptiques, épaisses d'environ 0mm001, souvent réunies par groupes de 4.

Le caractère du genre *Streptococcus* consiste en ce que les petites cellules sphériques restent longtemps unies en chaînes, ressemblant à un collier de perles (chaînes moniliformes). Parmi les espèces de ce genre, les plus importantes sont les suivantes :

Streptococcus margaritaceus Schroeter (fig. 45). — Cellules sphériques, assez volumineuses, réunies par séries de 10 à 20 en chaînes moniliformes.

Streptococcus coronatus Trev. — Cellules sphériques d'un diamètre d'environ 0mm001 à 0mm004, vivant isolément ou bien réunies en petites masses ou en chaînes. Cette espèce produit dans l'urine une fermentation ammoniacale ; elle se rencontre aussi dans l'eau sale.

FIG. 45. *Streptococcus margaritaceus.*

Dans le genre *Lampropedia*, dont l'espèce la plus fréquente qui vive dans l'eau sale est *Lampropedia hyalina* Schroeder (fig. 46), caractérisée par le contenu incolore de ses cellules sphériques d'environ 0mm002 de diamètre, les cellules sont réunies, par groupes de 4 ou de plus de 4, en une petite lamelle régulière et aplatie.

FIG. 46. *Lampropedia hyalina.*

Dans le genre *Sarcina*, les cellules sont disposées en familles ayant l'aspect d'un paquet ou d'un petit ballot quadrangulaire et entourées d'une enveloppe gélatineuse résistante.

Chez *Sarcina paludosa* Schroeter, que l'on rencontre dans les eaux sales provenant des fabriques de sucre, les cellules,

sphériques, incolores et dont l'épaisseur atteint jusque 0mm002, sont réunies, par groupes de 8, en petits amas quadrangulaires, un peu irréguliers, ayant l'aspect de petits ballots. Les limites des cellules d'un même ballot sont marquées par des échancrures. *Sarcina lutea* Flügge (fig. 47 et 48) est tout à fait semblable à l'espèce précédente, mais l'épaisseur de ses cellules, qui sont jaunes, ne dépasse guère 0mm001.

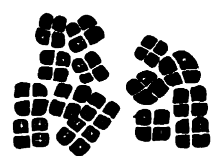


Fig. 47.
Sarcina lutea, vue de face.

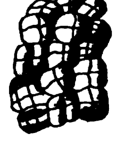


Fig. 48.
Sarcina lutea. Relief schématique.

Enfin, dans le même groupe, il faut encore mentionner le genre *Ascococcus*, dont les cellules sont réunies en grand nombre de façon à constituer des colonies arrondies et entourées d'une enveloppe gélatineuse résistante. Parmi les espèces de ce genre, *Ascococcus sarcinoides* Cohn vit dans les eaux sales des fabriques de sucre. Ses cellules incolores sont réunies en ballots quadrangulaires et forment ensuite des masses irrégulières, mamelonnées.

Parmi les représentants du groupe des Phycomycètes, une seule espèce existe dans l'eau polluée; mais elle s'y rencontre souvent en telle abondance que nous devons la signaler ici. C'est *Leptomitus lacteus* Agardh. (fig. 49), forme aquatique, filamenteuse, ramifiée, appartenant à la famille des *Saprolégniacées*. On la trouve souvent dans l'eau courante mélangée d'eaux d'égout. Elle y forme fréquemment, surtout pendant les mois d'hiver, d'énormes masses de gazon floconneux, blanc sale,

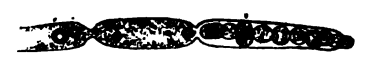


Fig. 49.
Leptomitus lacteus,
grossissement : 300 diamètres.

ayant l'aspect de la laine, qui recouvrent tous les corps placés dans l'eau. Ce Champignon consiste en un tube continu, mince, ramifié dichotomiquement et présentant de distance en distance des rétrécissements transversaux. La reproduction de cet organisme consiste en ce que, dans les segments terminaux des filaments, se forment des spores qui, s'échappant par un trou de la paroi du tube, se répandent dans l'eau ambiante et, après avoir nagé librement pendant un certain temps, entrent en germination. Pour ce qui regarde l'épuration des cours d'eau, l'activité et l'importance de ce Champignon peuvent être égales à celles de *Cladothrix*, de *Sphaerotilus* et de *Beggiatoa*.

Les organismes végétaux aquatiques, de nature plus ou moins élevée, qui n'appartiennent pas à la classe des Champignons, renferment, dans leurs organes exposés à la lumière, de la chlorophylle verte, soit à l'état pur, soit mélangée à d'autres matières colorantes, brunes, bleues ou autres. Grâce à la présence de la chlorophylle, ils sont capables de se nourrir de substances exclusivement inorganiques. Mais dans ces derniers temps, des recherches sur l'assimilation du carbone et de l'azote par les végétaux ont établi que des Algues contenant de la chlorophylle, telles, par exemple, que *Cladophora*, *Zygnema*, *Spirogyra*, *Hydrodrictyon* et *Vaucheria*, peuvent aussi absorber directement, comme matières nutritives, certaines substances organiques, notamment du sucre, de l'alcool méthylique, de la glycérine, de l'acide asparagique, des peptones, etc. On est arrivé à conclure que des plantes vertes peuvent, d'une façon générale, absorber de nombreux produits de la putréfaction et contribuer ainsi à l'épuration des eaux souillées par ces produits. Toutefois, les résultats bien établis relatifs à cette question ne se rapportent encore qu'à un nombre restreint d'Algues, et l'on ignore, en outre, si, dans les circonstances naturelles ordinaires, ces Algues jouissent du pouvoir d'absorber des composés organiques. Néanmoins il est remarquable qu'une quantité d'Algues vertes, bleu vert et brunes, appartenant surtout à la famille des Oscillariacées, et

certaines Chrooccacées, *Chroococcus turgidus* (fig. 50), familles qui, l'une et l'autre, sont apparentées aux Schizomycètes, se rencontrent très fréquemment dans les cours d'eau sales. C'est ainsi que les nombreuses espèces du genre *Oscillaria* et des genres voisins, *Phormidium et Spirulina*, vivent presque exclusivement dans de l'eau polluée par des matières organiques. Elles ont une odeur de vase particulière, vivent généralement dans la vase ou sur des corps placés dans l'eau et forment alors des enduits membraneux, plus ou moins épais, de couleur bleu verdâtre, noirâtre ou brunâtre, qui, lorsque le temps est clair, apparaissent souvent, à la surface des eaux stagnantes, comme des filaments et des amas sales, parce qu'ils sont amenés à la surface par les bulles d'oxygène résultant de l'assimilation des plantes et qui se sont accumulées entre elles. Ces petits végétaux isolés ont la forme de filaments et sont doués de ce genre de locomotion que nous avons décrit en parlant du genre *Beggiatoa*.

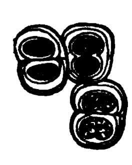


Fig. 50. *Chroococcus turgidus*.

Les filaments des espèces appartenant au genre *Oscillaria* sont droits ou un peu recourbés; ils ne sont pas ramifiés, n'ont pas d'enveloppe et se composent de courtes cellules cylindriques à faces terminales arrondies. Voici quelles sont les espèces les plus fréquentes.

Oscillaria princeps Vauch. — Filaments bleu verdâtre, droits, légèrement aminci à leur extrémité, épais de 0mm025 à 0mm05, unis en une couche d'un noir vert. Cellules longues de 0mm0035 à 0mm007, dépourvues de granulations contre leurs cloisons transversales.

Oscillaria limosa Agardh. — Filaments bleu verdâtre, droits, non amincis à leur extrémité, épais de 0mm013 à 0mm016, unis en une couche bleu vert foncé. Cellules longues de 0mm002 à 0mm005, présentant souvent des granulations contre leurs cloisons transversales.

Oscillaria tenuis Ag. (fig. 51). — Filaments bleu vert vif, droits, généralement un peu étranglés au niveau des cloisons

transversales, non effilés à leur extrémité, épais de $0^{mm}004$ à $0^{mm}01$, disposés de façon à former une mince couche bleu vert. Cellules longues de $0^{mm}0026$ à $0^{mm}005$, présentant généralement des granulations contre leurs cloisons transversales.

Oscillaria splendida Grev. — Filaments bleu vert clair, isolés ou unis en une mince couche bleu vert, droits ou recourbés, avec extrémités étirées et amincies, formant une sorte de petite tête. Ils sont épais de $0^{mm}002$ à $0^{mm}003$ et leurs cellules atteignent une longueur de $0^{mm}003$ à $0^{mm}009$.

Le genre *Phormidium* se distingue du genre *Oscillaria* par ce seul caractère, que ses filaments sont pourvus d'une mince enveloppe incolore et sont réunis de façon à constituer des couches membraneuses, souvent assez denses. Voici quelles sont les espèces qui nous intéressent :

Fig. 51. *Oscillaria tenuis.*

Phormidium Retzii Gom. (fig. 52). — Filaments assez droits, bleu vert, non recourbés à leur extrémité, épais de $0^{mm}0045$ à $0^{mm}012$, logés dans des enveloppes minces, confluant généralement en un mucilage; ils forment une couche épaisse et résistante. Les cellules sont longues de $0^{mm}004$ à $0^{mm}009$.

Phormidium ambiguum Gom. — Filaments recourbés, légèrement étranglés au niveau des cloisons transversales, épais de $0^{mm}004$ à $0^{mm}006$; enveloppes plus solides et plus épaisses que dans l'espèce précédente. Cellules longues de $0^{mm}0015$ à $0^{mm}0027$. Pour les autres caractères, ils sont semblables à ceux de *Phormidium Retzii.*

Fig. 52. *Phormidium Retzii.*

Phormidium subfuscum Ktz. — Filaments droits, bleu vert foncé, amincis à l'extrémité et pourvus d'une courte et petite tête conique. Ils sont épais de $0^{mm}005$ à $0^{mm}011$ et pourvus de gaines mucilagineuses confluentes. Ils sont réunis en minces couches, stratifiées, mem-

braneuses, vert noir ou noir olive. Les cellules sont longues de $0^{mm}002$ à $0^{mm}004$.

Phormidium uncinatum Gom. — Filaments droits ou recourbés, bleu vert, épais de $0^{mm}006$ à $0^{mm}009$; leur extrémité est recourbée, amincie et pourvue d'une petite tête. Ils sont logés dans des gaines mucilagineuses plus ou moins distinctes, et forment une couche très étendue, mince, résistante, vert noirâtre, brunâtre ou noir rougeâtre. Les cellules sont longues de $0^{mm}002$ à $0^{mm}006$.

Enfin, dans le genre *Spirulina* les filaments sont dépourvus d'enveloppe, comme dans le genre *Oscillaria*. Ils sont contournés en tire-bouchon dans toute leur longueur.

Spirulina Jennerii Ktz (fig. 53) se présente sous la forme de filaments spiraloïdes, épais de $0^{mm}005$ à $0^{mm}008$, qui généralement se meuvent activement et se rencontrent assez souvent dans les eaux boueuses.

Fig. 53. *Spirulina Jennerii.*

Parmi les Chroococcacées, Algues bleu vert, dont les cellules ne se soudent pas en filaments et qui, morphologiquement, présentent beaucoup de points de ressemblance avec les bactéries sphériques et en bâtonnets, certaines espèces du genre *Merismopedia* se trouvent très fréquemment dans les eaux sales. Les cellules de ce genre sont sphériques ou ovalaires, disposées souvent en petites lamelles non stratifiées.

Chez *Merismopedia glauca* Naegeli, les cellules, bleu verdâtre pâle, épaisses de $0^{mm}003$ à $0^{mm}004$, sont réunies en familles quadrangulaires, comprenant 4 à 64 cellules.

Les cellules de *Merismopedia elegans* A. Braun (fig. 54) sont épaisses de $0^{mm}006$ à $0^{mm}007$ et longues de $0^{mm}009$. Elles sont bleu vert vif et forment généralement des familles quadrangulaires de 8 × 16 ou de 16 × 16 cellules.

Fig. 54. *Merismopedia elegans.*

Maintes Algues siliceuses (*Bacillariacées* ou *Diatomacées*), que l'on peut aisément reconnaître

à leur forme élégante et symétrique, ainsi qu'aux dessins délicats et variés de leur paroi silicifiée et aux corpuscules jaune brun vif qu'elles contiennent, sont unicellulaires et douées d'un mouvement particulier. On en rencontre très régulièrement dans l'eau sale, en compagnie d'Oscillariées et de Schizomycètes. Nous citerons notamment : *Navicula cuspidata* Ktz. (fig. 55), *N. crytocephala* Ktz., *N. acicularis* Sm., *N. sigmoidea* Sm., *Cymbella gastroides* Ktz., *Nitzchia linearis* Sm. et *Cymatopleura solea* Breb.

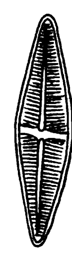


Fig. 55.
Navicula cuspidata.

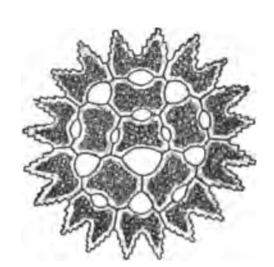


Fig. 56.
Pediastrum pertusum.

Il existe aussi fréquemment dans l'eau sale quelques espèces d'Algues vertes monocellulaires. Elles appartiennent à la famille des *Protococcacées*. Ce sont : *Pediastrum pertusum* (fig. 56) et *P. Borianum* Menegh., *Scenodesmus obtusus* Meyen, *S. acutus* Meyen et *S. caudatus* Corda ; en outre, *Rhaphidium polymorphum* Fres.

Mais les Algues vertes préfèrent l'eau claire et pure. Aussi, quand elles sont abondantes et nombreuses dans une eau, on peut en conclure directement que cette eau contient peu de composés organiques [1].

Une grande partie des éléments organiques de tout genre

[1] Pour plus de détails concernant les Algues qui vivent en eau douce, voir O. Kirchner, *Die mikroskopische Pflanzenwelt des Süsswassers*, 2. Auflage. Braunschweig, 1891, in-4° avec 4 planches.

qui existent dans nos cours d'eau, soit sous forme figurée, soit en solution, et qui se putréfieraient ou fermenteraient sans cela, servent de nourriture à de nombreux animaux. Absorbés par eux, ils leur servent à édifier leur propre corps ou à accomplir leurs fonctions physiologiques, ou bien ils sont excrétés sous forme de produits plus simples et non putrescibles, de sorte que la nutrition animale a pour effet de diminuer la masse totale des substances putrescibles contenues dans l'eau.

Naturellement, tous les animaux qui vivent dans l'eau ne prennent pas une part égale à cette réduction des matières organiques putrescibles, mais seulement ceux qui se nourrissent de matières aptes à se décomposer, telles que cadavres en décomposition, débris végétaux en putréfaction, vase, matières organiques en solution, etc.

Nous dépasserions de beaucoup le cadre du présent ouvrage, si nous voulions décrire tous les animaux qui coopèrent à l'autoépuration de nos cours d'eau. Nous nous bornerons à mentionner quelques représentants typiques des groupes les plus importants. Comme tels, nous devons considérer tous les animaux qui vivent de préférence dans les eaux putrides ou en voie de décomposition, et qui y trouvent souvent les conditions les plus propices à leur existence.

Nous devons, sans aucun doute, citer en toute première ligne les *Protozoaires*, animaux généralement microscopiques. Ils se distinguent de tous les autres animaux en ce qu'ils ne possèdent pas d'organes cellulaires spéciaux, mais qu'ils consistent en *une seule* cellule, capable de se mouvoir, d'absorber de la nourriture et de la digérer, de se reproduire, etc.

Un grand nombre de Protozoaires sont des habitants de l'eau douce et beaucoup d'entre eux vivent de préférence dans des eaux en putréfaction, où ils trouvent comme nourriture des matières organiques putrescibles, soit sous forme d'éléments figurés, soit à l'état de solution.

Parmi les Protozoaires, trois ordres jouent spécialement un grand rôle dans l'épuration des eaux. Ce sont :

I. Les Rhizopodes;
II. Les Flagellates;
III. Les Infusoires ciliés.

I. Les Rhizopodes sont les Protozoaires qui se meuvent à l'aide de pseudopodes. En des points déterminés de la surface de leur corps, ils émettent des prolongements effilés et souvent ramifiés, ou bien des prolongements lobulés et digitiformes, appelés pseudopodes, à l'aide desquels ils se déplacent sur les corps sur lesquels ils reposent. Il en résulte que la forme extérieure du corps des Rhizopodes nus, c'est-à-dire dépourvus de carapace, change continuellement. Les Rhizopodes d'eau douce se nourrissent principalement de petits végétaux, Diatomées, Algues, etc., mais ils se nourrissent aussi de petits animaux. La plupart d'entre eux prennent, en outre, comme nourriture, des particules de vase et des débris d'animaux et de végétaux.

Le nombre des espèces d'eau douce est d'environ 100. La plupart sont très répandues et vivent surtout dans les eaux tranquilles ou stagnantes. Dans les eaux courantes, ces organismes ne vivent habituellement que dans les endroits bien protégés du rivage ou dans la vase du fond. Ils peuvent, comme les *Amibes* (fig. 57), les *Difflugies* (fig. 58), etc., exister parfois

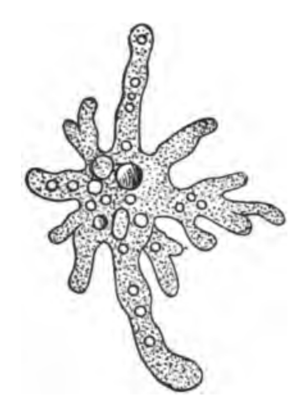


Fig. 57. — *Amibe.*



Fig. 58. — *Difflugie.*

en très grand nombre et prendre une certaine part à la destruction de la matière organique.

II. Les FLAGELLATES sont des Protozoaires qui se meuvent à l'aide d'un ou de plusieurs cils en forme de fouets, qu'ils battent çà et là. Ce sont des formes toujours microscopiques et souvent d'une petitesse extraordinaire.

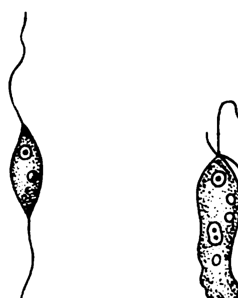
Plusieurs centaines d'espèces vivent dans toutes nos eaux douces. Elles y sont très répandues et beaucoup d'entre elles s'y trouvent souvent en nombre considérable, surtout dans les endroits où il y a des substances organiques en décomposition, en putréfaction. Le mode de nourriture de certains Flagellates est purement animal, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent d'éléments organiques fixes et figurés, petites plantes, bactéries, Diatomées, etc., et de débris d'animaux et de végétaux qu'ils introduisent à l'intérieur de leur corps, grâce aux tourbillons que font, dans l'eau, leurs fouets vibratiles. D'autres Flagellates, au contraire, peuvent se nourrir à la façon des végétaux chlorophylliens, c'est-à-dire qu'ils assimilent l'acide carbonique. D'autres formes encore se nourrissent, enfin, à la façon des végétaux saprophytes dépourvus de chlorophylle, à la façon des Bactéries et des Champignons; ils prennent comme nourriture des substances organiques dissoutes, qu'ils puisent dans l'eau.

Ces différents modes de nourriture sont habituellement propres à des espèces déterminées. Cependant de nombreux Flagellates, qui, se nourrissent soit à la façon des animaux, soit à la façon des holophytes, c'est-à-dire des végétaux chlorophylliens, possèdent, en outre, le pouvoir de se nourrir à la façon des saprophytes. En raison même de cette diversité du mode de nourriture, il n'est pas de groupe du règne animal qui joue un rôle aussi important dans l'autoépuration de nos cours d'eau que celui des Flagellates, d'autant plus que ces organismes existent partout et se rencontrent, spécialement dans les eaux putrides, en nombre d'autant plus considérable que l'eau est plus riche en matières organiques.

Parmi les deux à trois cents espèces qui vivent en eau douce et qui naturellement sont plus abondantes dans les eaux stagnantes, sans pourtant faire défaut dans les eaux courantes, nous nous bornerons à mentionner ici quelques formes très communes dans les eaux en putréfaction.

Au nombre des formes qui se nourrissent à la façon des animaux appartiennent les *Monadines*, incolores, qui sont généralement de très petits animaux, pourvus d'un fouet vibratile plus long et d'un ou de deux fouets vibratiles accessoires, plus courts. Tels, par exemple, *Cercomonas longicauda* Duj. (fig. 59) et *Monas vivipara* Ehrbg. (fig. 60).

Un deuxième sous-ordre comprend les *Euglenoidines*, formes habituellement plus volumineuses, qui ne portent qu'*un seul* flagellum, inséré à leur extrémité antérieure. Elles sont incolores et se nourrissent alors à la façon des animaux, ou bien elles renferment de la chlorophylle et se nourrissent alors à la façon des végétaux holophytes. C'est à ce sous-ordre qu'appartient, par exemple, *Phacus pleuronectes* Nitzsch (fig. 61), espèce que l'on trouve communément dans les eaux marécageuses. Elle se nourrit à la



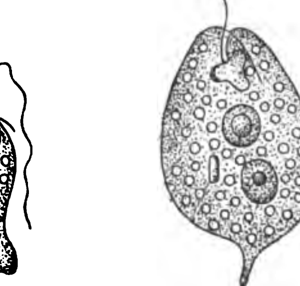


Fig. 59. *Cercomonas longicauda.* Fig. 60. *Monas vivipara.* Fig. 61. *Phacus pleuronectes.*

façon des holophytes, mais est parfois aussi dépourvue de chlorophylle.

Au troisième sous-ordre, aux *Hétéromastigodes* ou Flagellates pourvus de deux fouets vibratiles, dont l'un est dirigé en avant et l'autre en arrière, appartient, par exemple, le genre *Boto*, dont l'espèce *Boto ovatus* Duj. (fig. 62) est commune dans les eaux marécageuses. On y rencontre aussi fréquemment une autre espèce, *Anisonema grande* Ehrbg. (fig. 63).

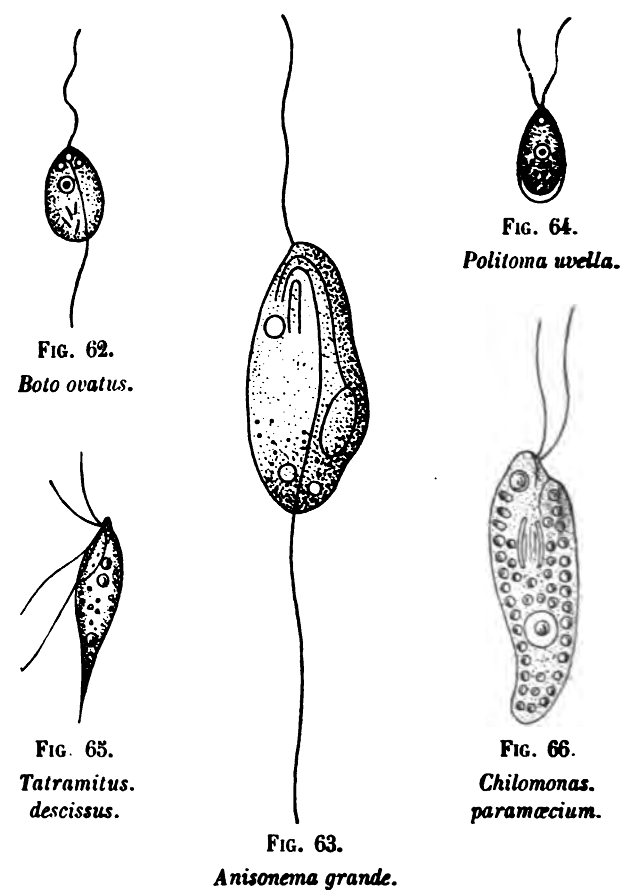


Fig. 62. *Boto ovatus.*

Fig. 63. *Anisonema grande.*

Fig. 64. *Politoma uvella.*

Fig. 65. *Tatramitus. descissus.*

Fig. 66. *Chilomonas. paramœcium.*

Le quatrième sous-ordre, les *Isomastigodes*, comprend les Flagellates pourvus de deux, rarement de plusieurs flagellums ou

fouets vibratiles, d'égale longueur. Tels sont, par exemple, *Politoma uvella* Ehrbg. (fig. 64), *Tetramitus descissus* (fig. 65) et *Chilomonas paramœcium* (fig. 66), formes communes dans les eaux en putréfaction, où elles vivent exclusivement et se nourrissent principalement à la façon des saprophytes.

III. Les Infusoires ou Ciliés sont des Protozoaires qui se meuvent à l'aide de nombreux cils vibratiles fins. Ils peuvent jouer dans l'autoépuration des eaux un rôle semblable à celui que jouent les Flagellates, car ils sont répandus dans tous nos cours d'eau, sauf dans les sources absolument claires. Deux cents espèces vivent dans les lacs, les étangs et les mares ainsi que sur les rives et au fond des rivières et des ruisseaux, surtout dans les endroits où l'eau est très tranquille. Ils se nourrissent exclusivement à la façon des animaux; ils n'absorbent que des substances solides, telles que des Bactéries, Bacillaires, Algues, Flagellates, Infusoires. Cependant ils mangent aussi des fragments de végétaux, des petits morceaux de bois, des grains d'amidon, des organismes morts, des lambeaux de tissus, etc. Une foule d'Infusoires mangent tout ce qu'ils rencontrent. Maintes espèces consomment une nourriture toute spéciale; il en est, par exemple, qui se nourrissent exclusivement de bactéries. La plupart trouvent les conditions favorables à leur existence dans les eaux en putréfaction, présentant le caractère d'une infusion. Là où arrivent dans une eau des substances organiques, soit des matières fécales, soit des eaux de fabriques de nature organique, on trouve, peu de temps après, des Infusoires et des Flagellates, souvent en quantités énormes. Leurs germes enkystés y sont amenés avec la poussière, par le vent; les kystes se rompent, les germes se répandent dans l'eau et s'y développent quand les conditions sont favorables, c'est-à-dire quand il existe des substances organiques en excès. Un seul Infusoire peut alors, en quelques jours, produire des millions de rejetons, jusqu'à ce que la provision de matière organique soit épuisée. Alors les Infusoires disparaissent, les uns servant de proie à d'autres animaux, les autres

s'enkystant à leur tour et pouvant, sous cette forme enkystée, attendre que les conditions favorables à leur nourriture se trouvent de nouveau réalisées.

Parmi les nombreuses formes de Ciliés, nous ne citerons, comme exemples, que quelques espèces particulièrement communes.

Comme espèces qui se nourrissent spécialement de bactéries et qui, par conséquent, interviennent surtout dans l'autoépuration des cours d'eau, nous signalerons : *Paramœcium Aurelia* O.-F. Müll. (fig. 67); *P. putrinum* M. et Lach.; *P. caudatum* Ehrbg.; *Colpidium colpoda* Ehrbg. (fig. 68); *Glaucoma scintillans* Ehrbg. (fig. 69); *Chilodon cucullus* O.-F. Müll. (fig. 70),

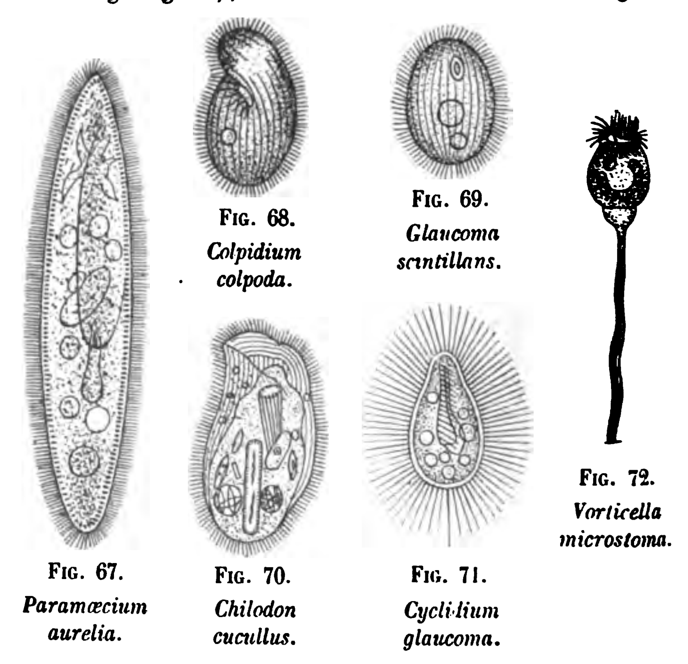


FIG. 67. *Paramœcium aurelia.*

FIG. 68. *Colpidium colpoda.*

FIG. 69. *Glaucoma scintillans.*

FIG. 70. *Chilodon cucullus.*

FIG. 71. *Cyclidium glaucoma.*

FIG. 72. *Vorticella microstoma.*

qui pourtant mange aussi des organismes plus volumineux; *Cyclidium glaucoma* Ehrbg. (fig. 71); *Vorticella microstoma* Ehrbg. (fig. 72).

D'autres formes, fréquentes aussi dans les eaux en putréfaction mais qui, tout en se nourrissant surtout de bactéries, ne le font pas exclusivement, sont : *Stylonichia mytilus* O.-F. Müll. (fig. 73); *Euplotes Charon* Ehrbg. (fig. 74); *Oxytricha fallax* Stein (fig. 75); *Halteria grandinella* O.-F. Müll. (fig. 76); *Spirostomum ambiguum* Ehrbg. (fig. 77); *Coleps hirtus* O.-F. Müll. (fig. 78).

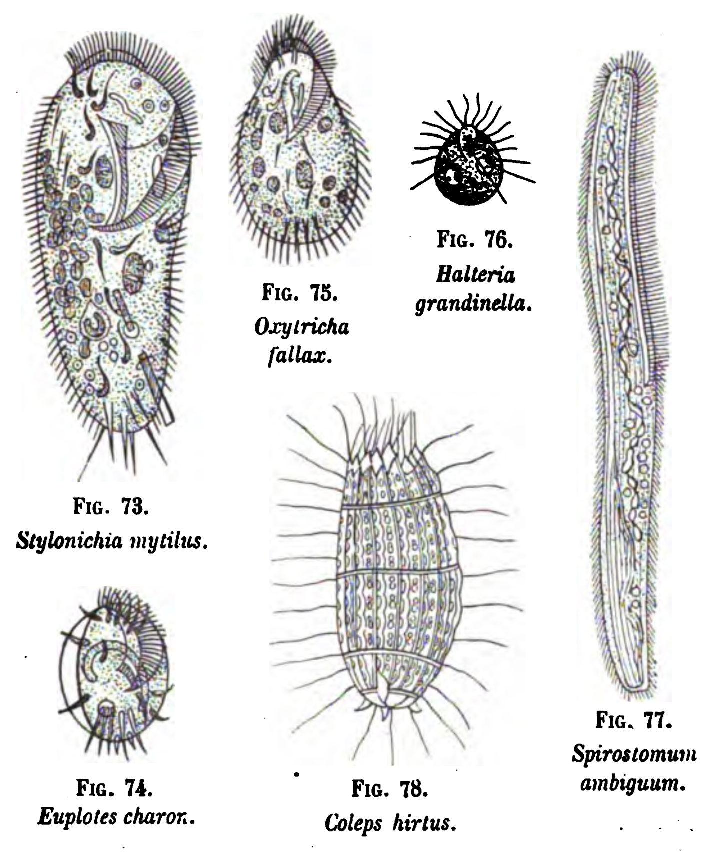


FIG. 73. *Stylonichia mytilus.*

FIG. 74. *Euplotes charon.*

FIG. 75. *Oxytricha fallax.*

FIG. 76. *Halteria grandinella.*

FIG. 77. *Spirostomum ambiguum.*

FIG. 78. *Coleps hirtus.*

D'autres Infusoires nombreux coopèrent encore naturellement à la destruction des substances organiques dans les eaux

putrides. Mais les espèces que nous venons de mentionner sont les plus communes et les plus importantes pour nous.

Nous avons de la sorte signalé les Protozoaires les plus essentiels qui jouent un rôle dans l'autoépuration des eaux. Mais ce ne sont pas les seuls animaux qui y interviennent.

Dans les groupes plus élevés du règne animal, il y a encore un grand nombre d'espèces aquatiques qui, se nourrissant de vase, interviennent dans la putréfaction ou dans un autre mode de décomposition des matières organiques. Toutefois, les services que ces organismes rendent à l'autoépuration des cours d'eau ne sont pas aussi importants que ceux que rendent les Protozoaires. S'il est vrai qu'une foule d'entre eux, par exemple les Vers ou les Mollusques limicoles, ne possèdent pas le pouvoir de se propager rapidement, comme les Protozoaires, dans les endroits où l'eau se trouve subitement polluée, néanmoins, on doit tenir compte de la consommation directe de matière organique non vivante qu'ils effectuent. Dans maints cas même, cette consommation peut être considérable.

Parmi ces animaux, les espèces qui vivent spécialement dans la vase se nourrissent de matières en putréfaction ou en voie de décomposition, et de la sorte, tout comme les végétaux et les Protozoaires dont nous avons parlé plus haut, elles contribuent *directement* à détruire de la matière organique non vivante, tout en pouvant en même temps manger aussi des végétaux et des animaux vivants. Nous signalerons notamment diverses espèces de *Vers*, d'*Arthropodes* et de *Mollusques*.

Parmi les *Vers*, il faut citer une foule de *Turbellariés* qui vivent dans la vase, comme par exemple *Planaria torva* (fig. 79), et qui se tiennent de préférence dans les eaux marécageuses entre des feuilles en putréfaction, et qui se nourrissent de débris organiques.

Fig. 79. *Planaria torva.*

Un autre groupe de Vers, celui des *Nématodes*, comprend aussi de nombreuses espèces limicoles. On en rencontre toujours dans l'eau aux endroits où s'accom-

plissent des phénomènes de décomposition. Ces organismes s'y nourrissent principalement de matières putrescibles, réduites en menus morceaux. Tel est le cas, par exemple, pour les *Nematoda* (fig. 80).

Un troisième groupe de Vers qui se nourrissent de vase comprend les *Oligochètes limicoles* (fig. 81) qui, par leur con-

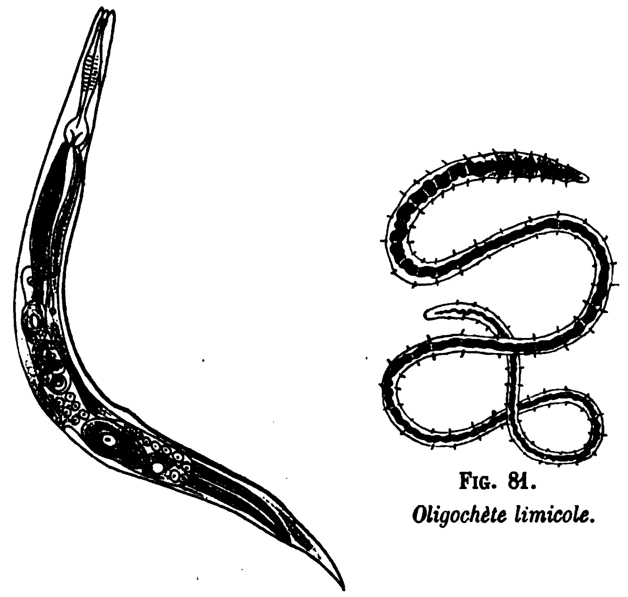


FIG. 81. *Oligochète limicole.*

FIG. 80. — *Nématode.*

stitution, sont très voisins du ver de terre, mais qui, par contre, vivent exclusivement dans la vase des ruisseaux et dans les endroits tranquilles des rivières, des mares et des lacs, où ils se nourrissent de débris organiques. Nous citerons comme exemple *Naïs elinguis* O. E. Müll. (fig. 82).

Il faut encore mentionner les *Bryozoaires* et les *Rotifères*, dont certaines espèces sont communes dans l'eau douce et qui, par la façon dont elles se nourrissent, jouent un rôle semblable à celui des Protozoaires.

Les *Bryozoaires* ne sont représentés dans les eaux douces

que par quelques espèces, que l'on trouve surtout là où l'eau est souillée par des matières organiques. Ce sont des formes microscopiques, qui constituent de petites colonies. Elles se

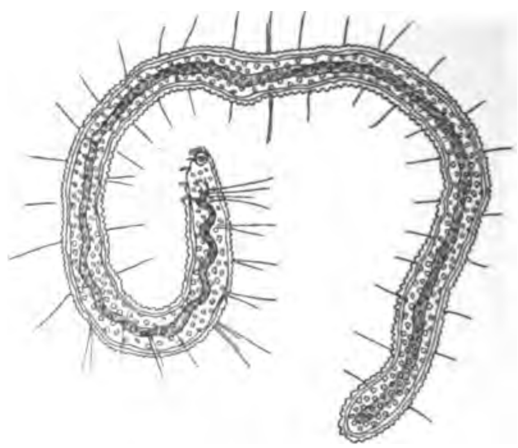


FIG. 82. – *Naïs elinguis.*

nourrissent de particules organiques, qu'elles introduisent dans leur tube digestif ou en formant, à l'aide des tentacules qui entourent leur orifice buccal, des tourbillons dans l'eau. Citons, à titre d'exemple, *Lophopus cristallinus* Pall. (fig. 83).



FIG. 83. — *Lophopus cristallinus.*

Beaucoup plus important est le rôle que jouent les *Rotifères* dans la destruction directe de la matière organique, non seulement parce que de très nombreuses espèces existent dans tous nos cours d'eau, mais encore parce que le nombre des individus qui vivent dans les eaux putrides riches en matières organiques est souvent

énorme. Les Rotifères, à l'aide de leurs œufs d'hiver, qui résistent à la dessiccation et que le vent peut disséminer partout, se propagent avec la plus grande facilité. Ce sont des animaux qui, à l'aide de leurs organes rotateurs, font pénétrer dans leur tube digestif tout ce qu'ils peuvent y introduire, animaux et végétaux de petite taille, particules de vase en voie de putréfaction. De nombreuses espèces, surtout les plus grandes, sont essentiellement rapaces. D'autres, et notamment les plus petites, se nourrissent surtout de vase. Comme telles nous cite-

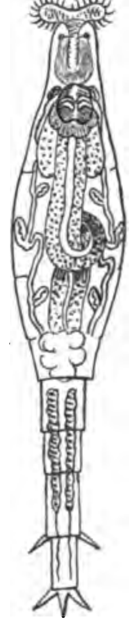




Fig. 85.
Melicerta ringens.

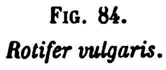


Fig. 84.
Rotifer vulgaris.

rons, par exemple, les espèces des genres *Tubicularia*, *Melicerta*, *Rotifer*, notamment *Rotifer vulgaris* Ehrbg. (fig. 84) et *Melicerta ringens* Ehrbg. (fig. 85).

Parmi les *Arthropodes*, il faut mentionner certains *Crustacés*

qui se nourrisent de substances en putréfaction, vase, végétaux pourris ou cadavres d'animaux. Citons ici maintes *Daphnides*, par exemple *Daphnia pulex* D. G. et *D. longispina* (fig. 86); puis les *Ostracodes*, par exemple *Cypris flava*, *Cypridoxis vidua* (fig. 87), de nombreuses Aselles aquatiques, par exemple *Asellus aquaticus* L. (fig. 88); puis le grand *Gammarus pulex* L. (fig. 89), très commun dans les ruisseaux et, enfin, l'écre-

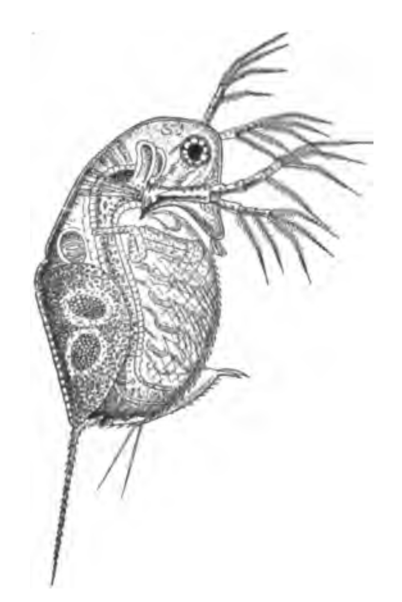


Fig. 86. — *Daphnia longispina*.



Fig. 87.
Cypridoxis vidua.

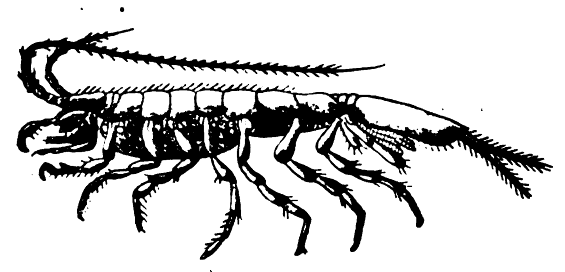


Fig. 88. — *Asellus aquaticus*.

visse d'eau douce, ***Astacus fluviatilis*** Rond., qui, on le sait, se nourrit surtout de cadavres, notamment de cadavres de poissons. Tous ces animaux mangent pourtant aussi d'autres petits animaux, Protozoaires, Vers, Crustacés, etc.

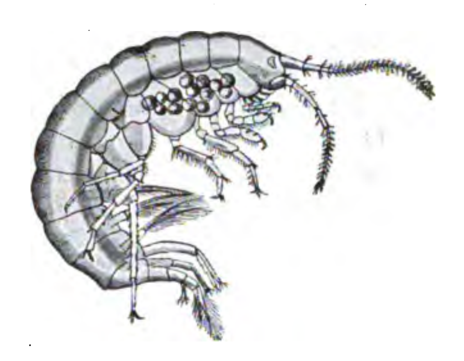


Fig. 89. — *Gammarus pulex.*

Les ***Mollusques***, enfin, comprennent un nombre important de formes qui interviennent dans l'épuration de l'eau. Les Moules d'eau douce ainsi que de nombreux Gastéropodes, que l'on trouve dans tous les cours d'eau et surtout dans les eaux stagnantes ou à courant peu rapide, mais qui vivent cependant aussi, comme *Ancylus fluviatilis* Blainv. (fig. 90), dans les ruisseaux à courant rapide, sont souvent limicoles et se nourissent non seulement d'animaux vivants, mais aussi d'animaux morts et de particules organiques.

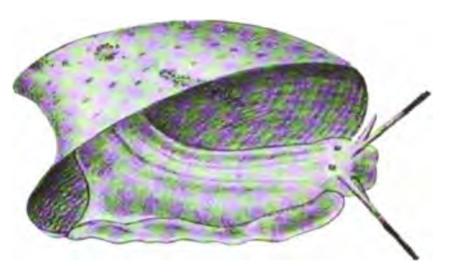


Fig. 90. — *Ancylus fluviatilis.*

Au nombre des *moules* signalons seulement les grandes espèces des genres *Unio* et *Anodonta*, *Unio pictorum* (fig. 91), par exemple, qui, à l'aide des cils qui gar-

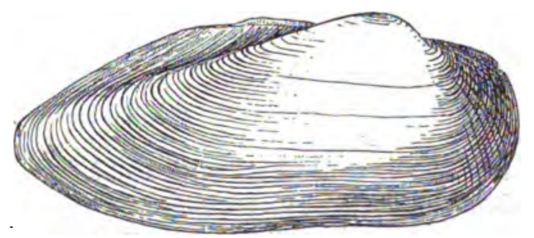


Fig. 91. — *Unio pictorum.*

nissent leurs branchies, établissent un courant d'eau constant vers leur orifice buccal et, pendant le passage de l'eau à travers leurs branchies, retiennent toutes les fines particules qui s'y trouvent en suspension et les amènent dans leur tube digestif, de telle sorte que l'eau ainsi filtrée sort pour ainsi dire pure.

De nombreux Gastéropodes, par exemple les *Limnées*, *Lymnea stagnalis* (fig. 92), les *Planorbes*, *Planorbus corneus* (fig. 93), les *Paludines*, *Paludina vivipara* (fig. 94), vivent

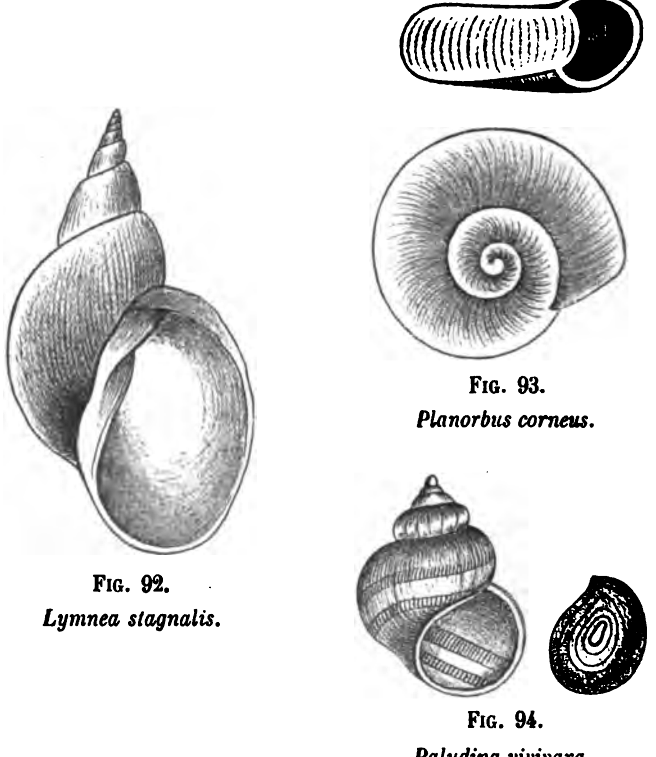


FIG. 92.
Lymnea stagnalis.

FIG. 93.
Planorbus corneus.

FIG. 94.
Paludina vivipara.

dans les eaux sales ou putrides et contribuent à l'épuration de l'eau, en absorbant des particules de vase.

Nous devons encore signaler ici l'intervention des *Insectes*,

dont les œufs, pondus dans l'eau, se développent aux dépens des débris organiques que contient la vase des cours d'eau. On les rencontre fréquemment aussi dans les eaux souillées par les résidus de fabriques contenant des matières organiques brutes.

Nous citerons notamment ici les larves des *cousins* (fig. 95) et des *Libellules* qui vivent souvent dans des mares par bandes considérables. Notre figure 96 représente la larve de la grande Libellule, *Aeschna grandis*.

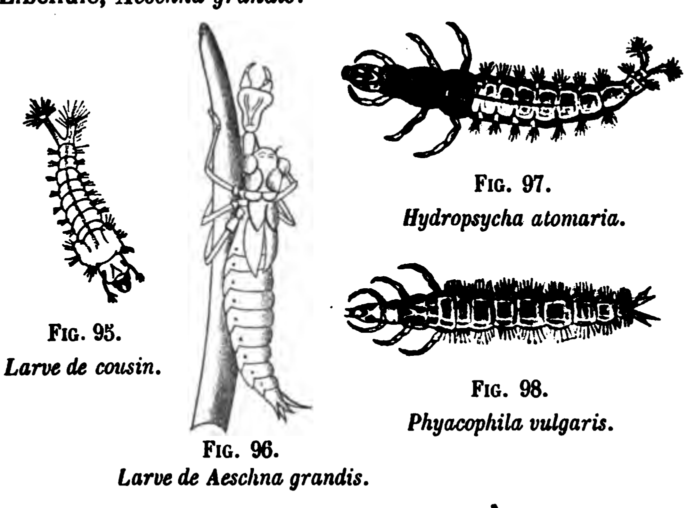


FIG. 95. *Larve de cousin.*

FIG. 96. *Larve de Aeschna grandis.*

FIG. 97. *Hydropsycha atomaria.*

FIG. 98. *Phyacophila vulgaris.*

FIG. 99. — *Larve de Simulia ornata.*

Les *Phryganes*, dont plusieurs espèces ont des larves caractérisées par la structure, souvent fort élégante, de leurs coques, vivent dans des cours d'eau plus purs, à courant rapide. Chaque espèce se constitue une coque dont la forme et les matériaux varient, mais qui est si caractéristique pour l'espèce, que l'on peut la déterminer d'après la forme de sa coque. La figure 97 représente *Hydropsyche atomaria* et la figure 98, *Phyacophila vulgaris*. Il faut, en outre, mentionner ici les larves des Simulides ou moustiques, *Simulia ornata* (fig. 99).

Ces larves d'insectes ont une importance spéciale pour l'autoépuration des cours d'eau parce que, pour se développer en insectes parfaits, elles se nourrissent de matières organiques, qu'elles puisent exclusivement dans l'eau. Les larves de ces animaux sont d'ailleurs une nourriture très recherchée par le poisson, de sorte qu'en dernière analyse le poisson lui-même mérite d'être rangé au nombre des agents de l'autoépuration.

Dans l'énumération que nous venons de faire d'animaux et de végétaux, nous avons eu pour but de faire ressortir les espèces qui, par leur mode de vie et la nature de leur nourriture, sont spécialement adaptées à séjourner dans les eaux putrides et contribuent par conséquent, en première ligne, à diminuer ou à détruire les substances organiques putrescibles qu'elles contiennent. On comprend cependant que tous les organismes que nous avons cités ne se rencontrent pas partout en même temps et dans tous les lieux où s'accomplissent des processus de putréfaction. Les Bactéries, les Flagellates et les Infusoires ne font, il est vrai, jamais défaut dans les eaux riches en matières organiques. Les Rotifères, sans être aussi communs, y sont souvent très répandus. Comme nous l'avons dit, ces animaux disposent, dans leur mode de développement, d'un moyen qui leur permet d'être propagés partout par le vent, et ils ont en outre le pouvoir d'engendrer en peu de temps une puissante progéniture.

On doit donc les considérer comme les principaux agents de l'autoépuration des rivières, tandis que les autres organismes que nous avons cités et spécialement les animaux, par suite de leur propagation toujours plus restreinte et de l'impossibilité dans laquelle ils se trouvent de se reproduire aussi rapidement, ne méritent d'être signalés qu'en seconde ligne, bien que, dans des cas spéciaux, grâce à leur présence abondante, leur action puisse être très considérable. Dans l'énumération que nous avons faite des organismes animaux, nous avons bien cité tous les ordres d'animaux limicoles qui nous intéressaient. Nous aurions pu aisément centupler le nombre des espèces que nous avons énumérées, mais nous n'aurions pas pour cela

éclairé essentiellement le problème de l'autoépuration des cours d'eau.

Dans ce domaine, malheureusement, on n'a pour ainsi dire pas entrepris encore d'expériences *ad hoc*, pouvant nous fournir une estimation numérique, sérieuse, du travail exécuté par les organismes dans l'épuration des eaux. Nous devons donc pour le moment nous borner à esquisser ce sujet dans ses traits généraux.

Comme nous l'avons dit déjà, nous pouvons nous représenter le travail effectué par les petits organismes vivants, comme réparti en séries distinctes, en partant de ce fait établi par l'observation, que les représentants les plus inférieurs de la faune microscopique peuvent se répartir en trois catégories distinctes, d'après la nature de leur nourriture : les animaux qui se nourrissent de bactéries; ceux qui se nourrissent d'algues et, enfin, ceux qui se nourrissent de vase.

Nous arrivons ainsi à établir les séries suivantes. Dans chacune d'elles le terme qui précède sert de nourriture au suivant.

A. 1. Bactéries.
   2. Protozoaires qui se nourrissent de Bactéries, tels que Rhizopodes, Flagellates et de nombreuses espèces d'Infusoires.
   3. Animaux plus élevés, tels que larves d'insectes, Vers, Crustacés, etc.
   4. Poissons.

B. 1. Bactéries.
   2. Animaux qui se nourrissent de Bactéries et de vase, tels que Moules d'eau douce, Gastéropodes, Vers, Bryozoaires, etc.
   3. Poissons.

C. 1. Algues saprophytes et Champignons, Algues vertes.
   2. Rhizopodes, Flagellates, Infusoires, Crustacés, Vers, larves d'insectes, etc.
   3. Poissons.

D. 1. Animaux inférieurs qui se nourrissent de vase, tels que Rhizopodes, Flagellates, Infusoires, etc.
2. Poissons.

E. 1. Poissons qui se nourrissent de vase.
2. Poissons rapaces.

Ces séries ne doivent naturellement pas être considérées comme fixes.

Selon les conditions spéciales que déterminent l'état de repos ou de mouvement de l'eau, la température et d'autres circonstances, parmi lesquelles l'absence ou la prédominance de telle ou telle substance nutritive joue, à son tour, un rôle spécial, nous voyons ces séries passer les unes dans les autres et s'entre-croiser.

Si les circonstances sont telles qu'elles provoquent la reproduction exagérée d'un terme intermédiaire, en même temps que le terme suivant fait défaut ou n'existe pas en assez grande abondance pour l'exterminer, nous devrons considérer cette reproduction exagérée comme le terme final de cette série incomplète.

Rappelons à ce propos, à titre d'exemple, l'apparition exagérée d'Algues saprophytes et de Champignons, sous l'influence de certaines eaux résiduaires, notamment de *Sphaerotilus natans*, de *Leptomitus lacteus*, de certaines Oscillariées et Algues mucilagineuses, ainsi que l'apparition, pour ainsi dire subite, de quantités considérables d'Algues vertes, etc.

Ces séries incomplètes d'autoépuration biologique offrent certains dangers, parce que les destructeurs normaux des termes surabondants n'existent pas en nombre suffisant et qu'alors la masse des cadavres des espèces en excès ramène pour ainsi dire le phénomène d'autoépuration à son point initial.

C'est ici qu'il convient, en outre, de rappeler le phénomène connu sous le nom de périodicité de la faune ou de la flore microscopique, et qui consiste en ce que, dans certaines circonstances, souvent mais très imparfaitement reconnues, telle

ou telle espèce apparaît subitement en nombre démesuré, pour être détruite non moins brusquement et en masse par une autre espèce.

Ces phénomènes relativement brusques ne doivent guère être considérés comme des processus biologiques normaux de l'autoépuration, bien qu'ils ne se produisent que trop souvent quand il se déverse dans nos cours d'eau une quantité exagérée de substances servant de nourriture à certains organismes.

Des considérations que nous venons d'exposer, il semble résulter que la présence normale des poissons est bien nécessaire pour que l'autoépuration biologique s'achève normalement.

Mais l'intervention du poisson dans le processus de l'autoépuration est encore digne d'attention, parce que de la présence du poisson nous pouvons conclure à une autoépuration normale. S'il est vrai que là où s'accomplit l'autoépuration normale le poisson non seulement peut exister, mais qu'il peut même y atteindre son optimum de prospérité, par contre, l'optimum de l'épuration biologique ne coïncide pas fatalement avec la possibilité d'un développement prospère du poisson. Nous pouvons parfaitement admettre que dans le cours de l'autoépuration cet optimum pour la vie du poisson se réalise en aval.

Nous pouvons donc, dans l'intérêt même de la pêcherie, consentir à ce qu'un excès de substances nuisibles existe dans une partie de l'étendue d'un cours d'eau, si nous sommes certains que, sous l'influence de l'autoépuration, il doive en résulter, en aval, un avantage pour la pêche, bien que certaines parties du cours d'eau soient perdues, le poisson ne pouvant y vivre, parce qu'elles contiennent en excès des impuretés organiques.

Nos eaux résiduaires épurées ne permettent, comme telles, que *très rarement* au poisson d'y vivre et d'y prospérer; mais elles deviennent très vite des eaux à poissons, quand elles se déversent dans un cours d'eau naturel, pour autant qu'elles

n'y amènent pas des substances pouvant exercer une action pernicieuse sur le développement de la flore et de la faune microscopiques, ce qui arrêterait ou troublerait les phénomènes biologiques normaux ou même y rendrait toute vie impossible, comme cela peut se produire et se produit quand les eaux résiduaires contiennent des sels vénéneux, des désinfectants, etc.

D'après ce que nous venons de dire, on comprend que nous ne pouvons pas estimer par des valeurs numériques quelle étendue d'un cours d'eau est nécessaire pour que l'autoépuration y soit achevée. Selon les circonstances, tantôt elle exigera pour s'accomplir un nombre restreint de kilomètres, tantôt, au contraire, elle ne sera pas encore terminée sur une étendue double.

L'autoépuration n'est souvent qu'incomplètement comprise, même par des hygiénistes, en ce sens que l'on songe souvent uniquement à l'épuration des impuretés provenant de notre activité industrielle, et que l'on oublie que, même dans nos cours d'eau les plus purs, les facteurs de l'autoépuration sont constamment en action. Comme nous l'avons vu dans le chapitre consacré aux sources naturelles de la pollution de nos cours d'eau, les impuretés qui arrivent par la voie naturelle dans nos cours d'eau tendent constamment à améliorer ces derniers par l'autoépuration.

Comme exemple de l'autoépurtion, telle que nous la montre l'analyse *chimique,* nous indiquerons les résultats obtenus par F. Hulwa, de 1877 à 1881 [1]. Ce travail mérite d'être signalé, non seulement parce que c'est le premier de ce genre qui ait été entrepris, mais encore parce que ses résultats sont très probants :

[1] *Beiträge zur Schwemmkanalisation, etc., der Stadt Breslau.* Breslau, 1890.

TOUTES LES VALEURS SONT EXPRIMÉES EN MILLIGRAMMES PAR LITRE.	Résidu total.	Perte à la calcination.	Ammoniaque.	Ammoniaque albuminoïde.	Caméléon combustible.
Eau de l'Oder en amont de Breslau.	169	38	0,07	0,24	16,7
Plus bas, *en amont* de l'embouchure des égouts	172	39	0,20	0,24	17,5
Immédiatement *en aval* de l'embouchure des égouts.	533	179	10,34	2,98	98 2
A la sortie de la ville.	186	43	1,12	0,42	22,9
A Masselwitz, à 9 kilomètres en aval de Breslau	179	43	0,48	0,33	17,2
A Herrnprotsch, à 14 kilomètres en aval de Breslau.	194	28	0,17	0,30	23,1
A Dyhernfurth, à 32 kilomètres en aval de Breslau	183	34	0 54	0,23	17,3

Les eaux de l'Oder effectuent ce trajet en quinze heures environ. Ce fleuve reçoit la Weide et la Weisstritz immédiatement avant de passer à Herrnprotsch.

Dans l'Isar, W. Prausnitz [1] a trouvé :

LIEU OÙ L'ÉCHANTILLON A ÉTÉ pris dans l'Isar.	Nombre de kilomètres depuis Munich.	RÉSIDU. Milligrammes par litre.	CHLORE. Milligrammes par litre.	Caméléon combustible.	Nombre de germes par centimètre cube
En amont de Munich	—	209	3,3	3,02	134
Au pont de Bogenhaus . . .	1,0	250	4,4	12,64	10,420
En aval de l'embouchure de l'Eisbach.	3,1	260	5,1	10,64	14,850
A Ismanning	13,0	257	4,5	10,99	9,396
A Ersching.	22,0	252	4,5	5 66	4,863
A Freysing.	30,0	—	3,9	5,82	3.221

[1] *Der Einfluss der Kanalisation auf die Isar*, etc. (HYGIEN. TAGESFRAGEN. München, 1890.)

L'Isar coulait avec une vitesse de 1m48 par seconde et débitait, dans le même temps, 35m357. La dilution exerçait une influence importante, car les eaux ne contenaient d'acide nitreux que jusqu'à l'embouchure de l'Eisbach et de l'ammoniaque que jusqu'à Ismanning. L'autoépuration par sédimentation laissait naturellement encore à désirer, à cause de la grande vitesse du courant. Les échantillons avaient été pris respectivement le 12 janvier 1889, à 2 heures, en amont de Münich, et le 13 janvier, entre 8 heures du matin et 3 heures 30 minutes de l'après-midi, à des intervalles assez réguliers de 1 à 2 heures, en aval.

Les figures 100 à 104 sont la reproduction de celles que Franz Hulwa a publiées dans son travail cité plus haut, pour montrer comment se présente au microscope l'autoépuration biologique. Nous les devons à la *Deutscher Fischerei-Verein* et à un rapport de Franz Hulwa (*Zeitschrift für Fischerei*, 1895, p. 148).

On les comprendra aisément à l'aide de la légende ci-dessous[1] et en se rapportant à l'exposé que nous avons fait précédemment.

[1] Légende indiquant les divers organismes microscopiques que représentent les figures 100 à 104.

1. Micrococcus.	18. Colpoda.	35. Cymatopleura.
2. Bactéries.	19. Paramaecium.	36. Cyclotella.
3. Zooglées.	20. Trachelium.	37. Asterionella.
4. Bacilles.	21. Enchelys.	38. Gomphonema.
5. Spirilles.	22. Glaucoma.	39. Gomphonella.
6. Spirochètes.	23. Oxytricha.	40. Paphidium.
7. Leptothrix.	24. Chilodon.	41. Scenedesmus.
8. Cladothrix.	25. Coleps.	42. Pediastrum.
9. Sphaerotilus.	26. Anthophysia.	43. Polyedrium.
10. Beggiatoa.	27. Navicula.	44. Cosmarium.
11. Leptomitus.	28. Melosira.	45. Pandorina.
12. Filaments et spores de Champignon.	29. Fragillaria.	46. Coelastrum.
13. Actinophrys.	30. Surirella.	47. Gonium.
14. Monades.	31. Synedra.	48. Closterium.
15. Amibes.	32. Cymbella.	49. Protococcus.
16. Euglena.	33. Pinnularia.	50. Oscillaria.
17. Euplotes.	34. Nitschia.	51. Lyngbya.

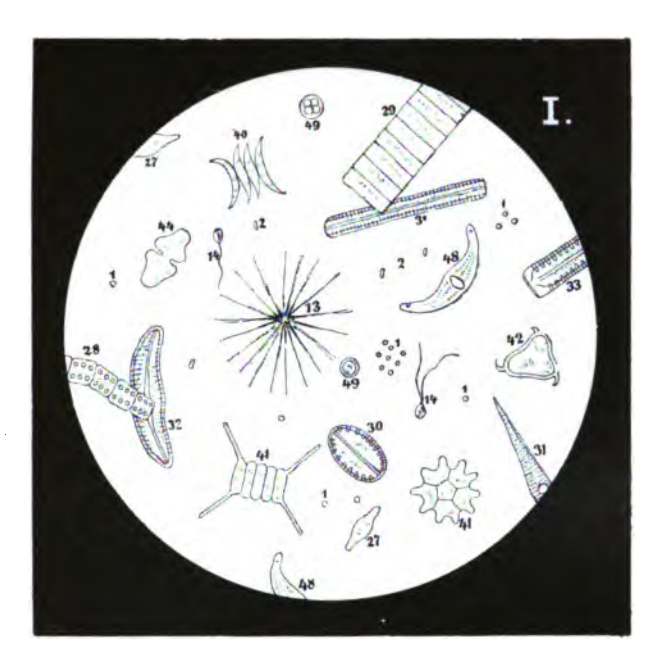


Fig. 100. — En amont de Breslau, près de la machine à élever l'eau : eau relativement pure.



Fig. 101. — Au milieu de la ville, en amont de l'embouchure des égouts : eau douteuse.



Fig. 102. — Au milieu de la ville, immédiatement en aval de l'embouchure des égouts : eau mauvaise, fortement polluée.



Fig. 103. — A Masselwitz, à 9 kilomètres en aval de Breslau : l'autoépuration est commencée.

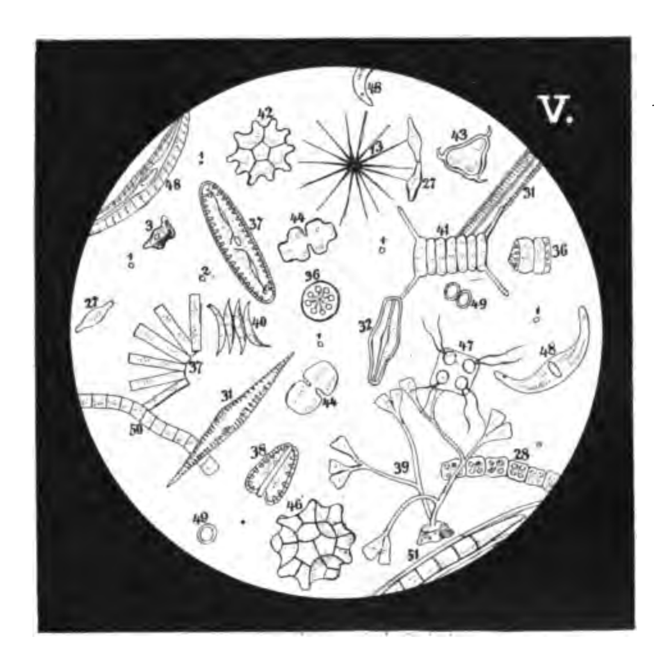


Fig. 104. — A Dyhernfurth, à 32 kilomètres en aval de Breslau : l'autoépuration est achevée.

Hulwa n'a pas eu son attention suffisamment attirée sur la part que prennent à l'autoépuration les bactéries que l'on trouve habituellement dans l'eau. C'est ce qu'il dit lui-même dans son rapport, en en exprimant le regret. Mais il n'était pas possible qu'il en fût autrement à l'époque où il publia son beau travail. Ses recherches remontent, en effet, à une vingtaine d'années, c'est-à-dire à une époque où n'était pas encore fondée la bactériologie moderne. Plus tard, il fut impossible de compléter ce travail, car, dans l'intervalle, on avait établi à Breslau une canalisation avec système d'irrigation, de sorte que les conditions étaient complètement changées.

Au début de ce chapitre, nous avons cru devoir affirmer que la *dilution* est un des facteurs actifs de l'autoépuration. Il ne

sera pas inutile de montrer par un exemple quelle somme colossale d'impuretés peut se déverser dans une rivière qui charrie une grande quantité d'eau, sans modifier notablement les résultats de l'analyse de l'eau.

L'Elbe à Dresde peut nous servir d'exemple. Dresde déverse journellement dans l'Elbe 16,000 mètres cubes d'eau d'égout. Il faut y ajouter les eaux résiduaires de 4 distilleries, de 16 brasseries, de 37 fabriques de produits chimiques, de 26 teintureries, de 6 tanneries, de 24 savonneries, de 1 abattoir, etc. Or, l'eau du fleuve, à 1 mètre au-dessous du niveau, contient par litre d'eau les diverses substances suivantes, dont nous indiquons les valeurs en milligrammes.

	En amont de Dresde.	En aval de Dresde.
Substances en suspension	7,2	7,3
— en solution	136,5	136,8
— organiques	17,6	18,4
Chlore	8,7	8,9
Acide nitrique	2,5	3,8
Ammoniaque	0,3	0,3

Les deux endroits où ont été effectuées les prises d'échantillons sont si peu distants l'un de l'autre, que l'on ne peut admettre que sur cette courte étendue il ait pu se produire une autoépuration de quelque importance. Or, la quantité considérable des impuretés déversées dans l'Elbe sur son parcours à travers la ville de Dresde se fait si peu sentir, comme on peut en juger d'après les chiffres ci-dessus mentionnés, qu'il faut bien admettre que la dilution semble agir comme une autoépuration, alors que, en réalité, l'autoépuration réelle est très minime.

Pour faire comprendre les effets de la dilution, nous citerons quelques exemples, qui nous permettront, d'une part, de nous rendre compte du processus et qui, d'autre part, nous montreront comment on peut l'utiliser dans la pratique, pour combattre l'action nuisible de certaines substances qui se déversent dans nos cours d'eau naturels.

Les eaux vannes d'un bon nombre d'industries amènent dans les cours d'eau des quantités assez importantes d'acides libres. Or, non loin de l'endroit où ces eaux se déversent dans la rivière qui les reçoit, la réaction acide n'existe plus, parce que les acides sont neutralisés par les carbonates et les bicarbonates que l'eau de la rivière contient, soit sous forme précipitée, soit en solution. Ce pouvoir de neutralisation des acides que possèdent les eaux de nos rivières a été méconnu ou mal apprécié jusqu'à ce jour. Nous allons voir combien puissante peut pourtant être son action.

Entre Cologne et Düsseldorf le régime du Rhin, à basse eau, est de 1,000 mètres cubes par seconde, et, d'après de nombreuses estimations que nous ne citerons pas ici, le coefficient de neutralisation naturelle des acides que possèdent les eaux du Rhin en cet endroit est de 80 à 100, ce qui signifie que les carbonates contenus dans 1 litre d'eau neutralisent 80 à 100 milligrammes d'anhydride sulfurique (SO^3). Si nous calculons donc quel est le pouvoir de neutralisation des acides que possède l'eau du Rhin qui passe en cet endroit, par seconde, nous trouvons que, le mélange étant supposé se faire complètement et instantanément, on pourrait déverser dans le Rhin 80 kilogrammes de SO^3 par seconde, soit 7,000 tonnes par jour, sans constater de réaction acide.

En 1897 [1], l'Empire allemand a produit 845,000 tonnes de H^2SO^4, soit par jour, avec soixante-treize fabriques, 2,300 tonnes de H^2SO^4, ce qui correspond à 1,880 tonnes de SO^3. Admettons que la production, qui a augmenté depuis 1897, soit actuellement de 2,000 tonnes de SO^3 par jour, en chiffres ronds; étant donné que l'eau du Rhin peut, par jour, neutraliser 7,000 tonnes de SO^3, l'Allemagne pourrait donc déverser dans les eaux du Rhin, à Cologne, trois fois et demie sa production journalière totale actuelle, sans nuire à ces eaux, c'est-à-dire sans les rendre acides, en supposant que

[1] *Sammelausstellung der deutschen chemischen Industrie auf der Weltausstellung*. Paris, 1900, p. 17.

cette quantité d'acide sulfurique arrive en un courant régulièrement réparti sur vingt-quatre heures. Lors de l'entrée du Rhin sur le territoire hollandais, pas un chimiste ne saurait constater de réaction acide dans ses eaux; car pendant le parcours entre Cologne et la frontière hollandaise, parcours qui exige vingt-quatre heures environ, le mélange, qui assurerait une réaction neutre, serait à coup sûr complètement effectué.

Il n'est d'ailleurs pas admissible que l'industrie allemande se prête à cette expérience, qui coûterait de 40,000 à 50,000 marcs; mais le petit calcul auquel nous venons de nous livrer est intéressant, parce qu'il démontre toute l'importance de l'autoépuration chimique.

Si l'exemple que nous venons de citer est, jusqu'à un certain point, d'ordre purement mathématique, celui dont je vais parler repose sur une observation relevant de la pratique. Un établissement métallurgique que je connais, situé près d'un cours d'eau allemand dont le régime est important, y déverse avec ses eaux résiduaires des lessives contenant 3 ‰ d'acides libres et 12 à 15 % de sels de fer, surtout de sulfate de fer. Sachant que le coefficient de saturation des acides du cours d'eau dans lequel se déversaient ces résidus est en moyenne de 80, je fis rechercher expérimentalement dans quelles proportions il fallait mélanger à l'eau de la rivière les eaux résiduaires en question pour neutraliser les acides et précipiter le fer. Il suffit de mélanger 500 volumes d'eau de la rivière avec 1 volume de la lessive en question, c'est-à-dire de diluer au 500e cette dernière pour neutraliser les acides et précipiter presque complètement la totalité du fer, sous forme d'hydrate ferrique. En diluant au 1000e, tout le fer se précipitait aussitôt; l'oxygène de l'eau naturelle déterminait une oxydation complète du sel ferreux et, quand on filtrait ensuite le mélange, on n'y découvrait plus de fer.

Étant donné que cette fabrique déversait 6 litres d'eaux résiduaires par seconde, il suffisait donc que le régime du cours d'eau qui les recevait fût de 6 mètres cubes par seconde,

pour empêcher ces eaux vannes de nuire. C'est certainement un travail très remarquable d'autoépuration chimique, si l'on songe que, par jour, cette fabrique déverse 800 à 900 doubles quintaux de sulfate de fer, y compris l'eau de cristallisation qu'il contient.

Je citerai encore un autre exemple, également emprunté à la pratique et dans lequel il s'agit d'un travail d'autoépuration chimique beaucoup plus puissant encore ; il semble, en outre, d'autant plus remarquable que c'est dans l'eau résiduaire même, à l'intérieur de la fabrique, avant son arrivée dans le cours d'eau qui la reçoit, que se produit la neutralisation complète de quantités relativement considérables d'acide, ainsi que la réduction d'une quantité relativement minime de sels de cuivre et de zinc, qui s'y trouvent à l'état de sulfates.

Il s'agit d'une fabrique de cuivre et de laiton, située près d'un cours d'eau, dont on estime à 60 le coefficient de saturation des acides. L'usine emploie pour le décapage de ses lingots 30 kilogrammes d'acide sulfurique par jour ; plus de 20 kilogrammes passent journellement dans l'eau de rinçage des lingots, ce qui équivaut à 2 kilogrammes par heure pendant dix heures de travail. Cette eau de rinçage se déverse, à son tour, dans l'eau qui a alimenté les divers services de l'usine. Or, les analyses de cette dernière, opérées à maintes reprises sur des échantillons prélevés à divers moments de la journée, démontrent qu'elle n'offre aucune réaction acide et qu'elle ne contient pas de sels de cuivre. Ceci s'explique par le fait que l'usine reçoit par seconde 50 mètres cubes d'eau qui, en se mélangeant aux eaux résiduaires, pourraient neutraliser 3 kilogrammes de SO^3 par heure, alors que l'usine n'en déverse que près de 2 kilogrammes.

Nous pourrions multiplier ces exemples.

Nous avons dit précédemment qu'en ce qui regarde l'autoépuration biologique, nous ne possédons pas de données numériques relatives à la valeur de son activité. C'est surtout exact pour les bactéries. Mais les observations qui ont été faites jusqu'ici concernant le plankton, dont les organismes doivent

aussi être tenus au nombre des facteurs biologiques intervenant dans l'autoépuration, nous fournissent pourtant certaines données qui tendent à établir aussi l'action importante de l'autoépuration biologique. O. Zacharias[1] estime à 15,000 quintaux la quantité de plankton que contenait, le 7 avril 1894, le grand lac de Ploen. Zopf[2], à propos des dépôts préhistoriques de soufre, compte que la production de soufre d'un lac « florissant » est au minimum de 20 kilogrammes par année et par hectare. Or, si nous estimons à 1 °/ₒ la teneur en soufre des corps albuminoïdes, et que nous fassions abstraction de toute autre source d'acide sulfhydrique, nous devons admettre qu'il a fallu dans l'eau 2,000 kilogrammes d'albumine, représentés par des végétaux et des débris d'animaux, pour produire cette quantité de soufre en se décomposant.

Pour ce qui regarde les animaux plus élevés, qui, comme nous l'avons dit précédemment, participent aussi à l'autoépuration des cours d'eau, nous ne sommes pas non plus absolument sans données numériques concernant la valeur de leur action. C'est ainsi que le Profr Dr Dunbar, de Hambourg[3], estime à plus de 100 kilogrammes par 100 mètres cubes la quantité de vers de terre qui se trouvaient parmi les corps d'oxydation à la « Station expérimentale de Hambourg pour l'étude des phénomènes d'épuration biologique ». Dans ces circonstances nous devons donc aussi, dans les cours d'eau libres, compter sur le lombric, qui sert, en outre, de nourriture au poisson.

Le même auteur a aussi constaté, parmi les corps d'oxydation, « d'innombrables quantités » de larves d'insectes, dont il estime le poids à « plusieurs kilogrammes » dans 100 mètres cubes. On sait qu'il naît aussi des « quantités innombrables »

[1] O. ZACHARIAS, *Plöner Berichte III*, S. 106.

[2] W. ZOPF, *Zeitschrift für Naturwissenschaften*, 1887, S. 85.

[3] DUNBAR und K. THUMM, *Beitrag zum derzeitigen Stand der Abwasserreinigungsfrage mit besonderer Berücksichtigung der biologischen Reinigungsverfahren München und Berlin*. R. Oldenburg, 1902, S. 29.

de larves d'insectes dans les cours d'eau libres. La présence de « nuées de mouches » sur les cours d'eau pollués est un fait bien connu.

Ce que nous avons dit prouve bien que les processus que nous avons réunis sous le nom général d'autoépuration, ont une importance considérable.

Cependant l'action de l'autoépuration n'a pas un pouvoir illimité. Nous sommes en droit d'attendre beaucoup d'elle; mais elle ne peut pourtant accomplir des merveilles. Or, aujourd'hui on réclame souvent d'elle des merveilles, et quand ses effets restent au-dessous de ce qu'on a exigé à tort, on jette le manche après la cognée. C'est ainsi que les hygiénistes notamment en arrivent à la considérer comme quantité négligeable ou même à lui dénier absolument toute valeur dans l'épuration des cours d'eau. Un savant hygiéniste allemand, bien connu à cause de l'importance de ses œuvres et que l'on cite souvent, me rappelait cet aphorisme classique : « La valeur de l'autoépuration dépend uniquement et essentiellement de la sédimentation qu'elle détermine ».

C'est précisément pour prévenir ce courant d'idées que, dans cet exposé, j'ai attribué à l'autoépuration un espace un peu plus considérable qu'aux autres facteurs principaux de l'épuration.

Sans l'autoépuration, tous nos efforts pour maintenir purs et sains nos cours d'eau sont vains. Il ne faut pourtant pas prétendre que nos appareils et installations d'épuration n'ont aucune valeur et ne peuvent produire aucun effet utile, bien qu'il faille reconnaître qu'il nous reste encore beaucoup à trouver et à améliorer dans le domaine des procédés d'épuration.

Nous l'avons dit maintes fois déjà, il n'est pas de procédé d'épuration qui, à lui seul, puisse transformer une eau résiduaire souillée en une eau à poissons saine et comparable à une eau naturelle; nous faisons, bien entendu, allusion aux procédés que l'industrie peut employer, étant donnée la nécessité dans laquelle elle se trouve de produire beaucoup et de

soutenir une concurrence extrême. C'est en tout cas l'autoépuration qui, en dernière analyse, doit servir à enlever les impuretés qui y sont restées.

Si la pêcherie fluviale et l'industrie doivent pouvoir prospérer côte à côte, l'industrie doit aussi pouvoir utiliser les cours d'eau publics pour y déverser ses déchets, à condition qu'elle fasse au préalable, dans la mesure des moyens que lui fournissent la science et la pratique, tout ce qu'elle peut pour faciliter l'autoépuration.

Toute industrie doit s'efforcer, autant que possible, de ne pas rejeter dans les cours d'eau un excès de résidus, que ne saurait détruire l'autoépuration dans les conditions qui se trouvent réalisées. Dans le cas où cela est impossible, nous devons alors apprécier quel est, des deux facteurs, pêcherie et industrie, celui qui est le plus important au point de vue économique, et lui réserver la primauté.

INTERVENTION DES POUVOIRS PUBLICS. — INTERVENTION DES PARTICULIERS INTÉRESSÉS.

Au cours de l'exposé que nous avons fait jusqu'ici, nous avons dû, à plusieurs reprises, signaler certaines oppositions qui existent entre les intérêts de la pêche et ceux de l'hygiène. Il ne me paraît pas superflu d'entrer brièvement dans quelques considérations particulières sur ce sujet et de signaler en même temps ce que les autres facteurs intéressés, l'économie rurale et l'industrie, peuvent spécialement réclamer concernant la constitution d'une eau qui est épurée après avoir été polluée.

La notion de nocuité d'une eau dépend nécessairement, en effet, des qualités qu'on exige de l'eau ; elle ne peut donc être la même pour tous les facteurs qu'intéressent les eaux des cours d'eau publics.

Des quatre principales intéressées, la pêcherie, l'industrie, l'hygiène et l'économie rurale, seule la pêcherie, non seulement n'attache aucune importance à ce que l'eau soit absolument pure, mais son intérêt exige même qu'elle offre un certain degré d'impureté. Cette condition est, en effet, nécessaire pour qu'il existe et se développe dans l'eau une quantité d'organismes suffisante pour nourrir les poissons, comme nous l'avons dit en parlant de l'autoépuration.

Quand nous disons que l'eau doit, dans l'intérêt de la pêcherie, offrir un certain degré d'impureté, nous voulons dire qu'elle doit contenir des impuretés organiques ainsi que de minimes quantités de sels nutritifs. Ce qui est à redouter seulement, c'est un excès d'impuretés tel qu'il puisse, non seulement empêcher l'autoépuration de s'achever normalement, mais provoquer, en outre, des décompositions de nature à compromettre la vie du poisson. Sans nuire aux intérêts de la pêcherie, une eau, surtout une eau courante, peut même être polluée par des substances organiques sur une certaine étendue de son parcours. Nous savons, en effet, que si les conditions réalisées dans cette partie polluée du cours d'eau sont néfastes au poisson,

par contre en aval elles deviennent très favorables à son développement.

Mais l'intérêt de la pêcherie exige que l'eau ne contienne que des quantités plus que minimes de substances minérales solubles et spécialement de sels solubles des métaux lourds; d'acides minéraux, de lessives caustiques et de composés sulfureux solubles; d'une foule de sels organiques vénéneux, tels, par exemple, que maintes matières colorantes, ainsi que d'autres substances qui, comme nous l'avons vu précédemment, exercent une action toxique sur le poisson.

Dans l'intérêt de la pêcherie, l'eau doit être saine. Nous entendons par là une eau dans laquelle puisse s'accomplir sans perturbation toute la succession des processus biologiques, ce qui ne signifie nullement qu'elle doive être limpide. Le poisson, en effet, peut parfaitement vivre dans une eau trouble, pour autant que les substances en suspension n'exercent pas une action pernicieuse rapide sur ses délicates membranes muqueuses, comme le font certaines impuretés minérales insolubles, telles que les précipités d'oxyde de manganèse, de fer, etc.

Les poissons peuvent parfaitement prospérer dans de l'eau contenant des proportions même relativement élevées de chlorures. Et, pour autant que nous le sachions, il en est de même des organismes inférieurs. Il se pourrait même que certains organismes supportent mal la présence des chlorures, alors que d'autres n'en souffrent nullement, sans que nous ayons pour cela à redouter que les phénomènes biologiques de l'autoépuration ne suivent leur cours normal. Nous ne devons redouter, dans l'intérêt de la pêcherie, que les phénomènes résultant d'une autoépuration incomplète, c'est-à-dire la putréfaction fétide avec les processus qui l'accompagnent.

L'*hygiène* considère l'eau uniquement au point de vue de sa salubrité, de son emploi pour satisfaire à certains besoins de l'homme et des animaux domestiques, comme *eau potable* et comme *eau d'usage*. Sous le nom d'*eau d'usage*, nous entendons l'eau de lavage, de bain et de cuisine, ainsi que celle

que l'on emploie, à divers titres, dans l'industrie des denrées alimentaires.

Tout comme la pêcherie, l'hygiène doit nécessairement désirer que l'eau soit exempte de ces éléments minéraux et toxiques que nous avons énumérés plus haut.

Dans l'intérêt de l'hygiène, il faut, en outre, que l'eau ne contienne aucune substance qui lui donne une saveur ou une odeur. Il est donc spécialement important, au point de vue de l'hygiène, que l'eau soit limpide. En outre, elle ne doit renfermer aucun des éléments de l'eau de mer, des chlorures alcalins et alcalino-terreux, que pour autant que ces substances n'influent pas sur sa saveur, à moins qu'elle ne doive servir comme eau médicinale. Comme eau potable, l'hygiène ne doit pas rejeter les eaux dures, à condition que la proportion de sels qu'elles contiennent ne dépasse pas certaines limites qui les rendent défectueuses, surtout comme eaux d'usage.

Mais une eau est spécialement mauvaise, au point de vue de l'hygiène, quand elle renferme des impuretés organiques, non seulement parce que ces substances peuvent exercer une influence sur la couleur et la saveur de l'eau, mais surtout parce qu'elles peuvent y amener des germes pathogènes. D'une façon générale, l'hygiène redoute la présence de substances organiques dans l'eau, parce qu'elles peuvent servir de milieu nutritif aux germes pathogènes. Dans sa crainte, bien légitime, des germes pathogènes, elle s'efforce d'en empêcher, autant que possible, l'arrivée dans les cours d'eau. Pour atteindre ce but, elle ne redoute pas trop de laisser arriver dans les cours d'eau des poisons et des désinfectants capables de les tuer, surtout des agents, tels que la chaux vive et le chlore, par exemple, qui ne rendent le cours d'eau que passagèrement impropre à l'usage, grâce aux influences multiples de l'autoépuration.

En outre, une eau « vivante » est défectueuse au point de vue de l'hygiène. En effet, une eau « saine » pour la pêcherie — et nous avons défini plus haut ce qu'il faut entendre par là — n'offre d'importance pour l'hygiène que dans le seul

cas où il est désirable que des phénomènes hydrobiologiques interviennent. A ce point de vue, dans l'intérêt même de l'hygiène – qui est semblable en cela à celui de la pêcherie — un cours d'eau peut recevoir, même en excès, des matières organiques, les eaux des égouts d'une ville, par exemple, s'il doit en résulter d'autres avantages hygiéniques importants, comme, par exemple, d'éloigner rapidement de la banlieue d'une ville, par une canalisation, les immondices de cette ville, à condition que dans l'étendue du cours d'eau nécessaire à l'accomplissement de l'autoépuration, il n'existe sur les rives ni habitations ni usines (M. von Pettenkofer). L'hygiène redoute surtout les substances azotées putrescibles, à cause des exhalaisons désagréables qu'elles dégagent. Aussi, pour elle, un procédé d'épuration n'est utilisable que pour autant qu'il assure la décomposition aussi complète que possible des composés azotés, ce qui exclut la putréfaction fétide.

Nous venons d'examiner rapidement quelles sont les qualités que doit avoir l'eau pour répondre aux exigences ou aux intérêts de la pêcherie et de l'hygiène.

L'*agriculture*, l'*économie rurale*, utilise l'eau comme eau potable, eau d'abreuvoir et eau d'usage, et naturellement, à ces divers titres, elle exige de l'eau les mêmes qualités que l'hygiène.

Mais l'agriculture utilise, en outre, l'eau pour des irrigations ou mieux pour suppléer à l'insuffisance des pluies. Le but principal de l'irrigation des champs et des prairies est d'humecter le sol. Cependant les éléments de fumure, et spécialement les substances azotées incomplètement décomposées que peuvent contenir les eaux d'irrigation, ne sont pas inutiles aux intérêts de l'économie rurale. Toutefois, si ces substances s'y trouvent en excès, elles peuvent nuire au lieu d'être utiles. En effet, quant cet excès s'accompagne d'un manque de telle ou telle autre matière nutritive, il se produit de la chlorose, ou bien les végétaux deviennent trop luxuriants par suite d'une nourriture trop abondante. Quant des prairies ne sont pas régulièrement aptées, elles peuvent souffrir si on les irrigue à

l'aide d'eaux troubles, dont les sédiments diminuent la valeur du foin et peuvent même occasionner des maladies au bétail qui en fait usage. L'agriculture ne redoute pas les organismes microscopiques de l'eau, sauf, comme nous l'avons dit, certains germes pathogènes. Au contraire, elle les utilise volontiers, en tant que matières azotées capables de se décomposer.

Les sels des métaux lourds sont nuisibles à l'économie rurale, comme ils le sont aux intérêts de la pêcherie et de l'hygiène. Il n'y a d'exception que pour les sels de fer, quand leur teneur ne dépasse pas certaines limites. Nuisibles aussi sont une foule de substances qui constituent réellement des poisons spécifiques pour les végétaux. Mais nous ne pourrions en parler ici sans sortir du cadre de notre sujet.

Toutefois, il est encore un point dont nous devons nous occuper. Plus encore que ne le réclament les intérêts de la pêcherie et de l'hygiène, les intérêts de l'agriculture exigent que l'eau ne contienne pas les sels caractéristiques de l'eau de mer. En effet, en présence des chlorures, la solubilité des matières nutritives les plus importantes pour les plantes, et surtout la solubilité des sels potassiques et magnésiques, augmente notablement. La présence de chlorures dans les eaux d'irrigation occasionne donc une perte pour l'exploitation agricole, parce qu'une grande partie des matières nutritives dissoutes en excès passe dans le sous-sol, dans la nappe souterraine, inaccessible aux racines des plantes : le champ s'appauvrit ainsi en substances nutritives. Tandis que nous ne percevons pas le goût salé d'une eau qui contient 1 gramme de sel de cuisine par litre et que des poissons d'eau douce peuvent parfaitement vivre dans une eau plus salée encore, l'eau qui contient 1 gramme et même parfois $0^{gr},5$ seulement de sel de cuisine par litre, exerce déjà manifestement sur un champ cultivé l'action que nous venons d'indiquer.

Mais c'est l'*industrie* qui, tout entière, souffre le plus d'une eau impure. Elle est particulièrement intéressée à disposer d'une eau aussi limpide et aussi pure que possible, tant pour l'alimentation des chaudières que pour tous autres usages intérieurs.

L'emploi d'une eau impure nuit même en tant que source d'énergie; car il a pour conséquence de diminuer la durée des roues motrices ou bien d'augmenter les frais d'entretien.

Certes, la plupart des industries, avec la diversité des ressources dont elles disposent, savent souvent parer à ces inconvénients. Mais il en est, comme par exemple les fabriques de sucre, les teintureries, etc., qui souffrent gravement de devoir se servir d'eau souillée, lorsqu'il est impossible, même au prix de grands sacrifices d'argent, d'en obtenir une épuration suffisante.

Au reste, on peut dire que, pour tout établissement industriel, une eau aussi claire et aussi pure que possible constitue un très important capital de premier établissement.

C'est un fait qu'aucun industriel ne doit ignorer.

Mais il ne suffit pas de connaître ce que les divers facteurs intéressés à disposer d'une eau pure sont en droit d'exiger d'elle.

Nous devons encore nous efforcer de satisfaire à ces exigences. Nous devons prendre les mesures capables d'assurer la réalisation, dans nos cours d'eau, des conditions nécessaires à leur salubrité. Ces conditions, nous les connaissons et depuis longtemps. Aussi n'est-il pas pour le moins surprenant qu'il n'y ait pas été satisfait jusqu'ici ?

Nous disposons, nous l'avons vu, de ressources de tout genre ; nous possédons maints procédés excellents pour épurer les eaux résiduaires, et néanmoins la pollution de nos cours d'eau augmente, en général, de plus en plus.

Nous savons que ces procédés, leur emploi et leur exécution, coûtent de l'argent et que ces dépenses sont une charge pour l'industrie, qui a jusqu'ici admis que les cours d'eau doivent plus ou moins exclusivement servir à éloigner, de façon la plus commode, du voisinage de nos habitations et de nos ateliers, les immondices et détritus inutiles.

Quand aucune contrainte ne menace, on n'emploie pas le procédé même le plus simple. Il n'y a pas de juge quand il n'y a pas de plaignant.

Aussi longtemps que la population était peu dense et les établissements industriels clairsemés; aussi longtemps que la quantité des matières résiduaires rejetées dans les cours d'eau n'avait pas atteint ces limites excessives qui se rencontrent souvent aujourd'hui; aussi longtemps que l'autoépuration se jouait pour ainsi dire de ces effets de notre civilisation, on ne pouvait songer que nos cours d'eau courussent un danger réel. Aussi les pouvoirs publics, dans leur désir légitime de favoriser autant que possible l'industrie et de lui épargner des charges qui ne paraissaient pas indispensables, montrèrent ils une tolérance qui, nous le savons maintenant, dépasse de loin ce qu'exigeait l'intérêt de la communauté, de la société.

Que, dans l'intérêt général de ses administrés, l'État ait le devoir de régler les conditions de nos cours d'eau, cela se comprend d'autant plus aisément que les cours d'eau publics sont propriété de l'État, et que c'est l'État qui est chargé depuis toujours d'accorder toutes les autorisations relatives à la pêche, aux prises d'eau et à l'utilisation des cours d'eau pour la navigation. Mais les notions de cours d'eau public et de cours d'eau privé ne sont pas partout identiques, ni légalement, ni d'après les us et coutumes locaux, même dans les diverses parties de l'empire allemand.

Le fait que les cours d'eau sont la propriété de l'État, qui a droit d'autorité sur eux, doit garantir une juste répartition des droits et des devoirs entre les divers groupes d'intéressés. Aussi serait-il à désirer qu'une réglementation légale intervînt dans l'intérêt de la communauté, que semble représenter l'État.

Or, la situation est loin d'être uniforme dans toutes les provinces de l'empire d'Allemagne. Tels droits qui sont accordés dans une province, doivent être achetés dans une autre, ce qui est certainement regrettable [1]. D'une façon générale, les

[1] La Suisse nous a devancés à ce sujet. C'est ainsi qu'en ces dernières années l'État a racheté tous les droits relatifs aux eaux et à la pêche du lac de Zurich. Il en a acquis la propriété et a affermé la pêche en s'entourant de toutes les garanties nécessaires.

cours d'eau, dont diverses parties sont utilisées par des établissements industriels, ne devraient pas être la propriété de particuliers. Les droits d'utilisation et les obligations des particuliers devraient être réglés par une loi, de telle sorte que les préférences des uns ne puissent nuire aux autres.

On ne peut méconnaître l'importance qu'offrent les canaux au point de vue des intérêts du commerce. Mais les exigences de la navigation en ce qui concerne la direction des cours d'eau, leur profondeur et la constitution des rives, ne devraient pas nuire aux droits qu'ont, par exemple, l'hygiène, la pêche fluviale, l'agriculture et l'industrie, à disposer de quantités suffisantes d'eau pure appropriées à leurs besoins respectifs. On comprend cependant que les exigences des divers groupes intéressés soient parfois contradictoires. Alors – et ces cas sont malheureusement très fréquents – une sage réglementation publique doit apprécier avec soin, en se plaçant au point de vue de l'intérêt général, quelles mesures il y a lieu de prendre pour pondérer équitablement la part qu'il convient de faire aux besoins des uns et des autres.

La Prusse a récemment (1894) fait l'essai d'une réglementation légale des questions relatives au régime des eaux, en ce sens que le Gouvernement prussien a publié le projet d'une loi qu'elle a soumis à la critique des diverses parties intéressées.

Nous ne doutons nullement que l'élaboration de ce projet n'ait constitué un travail très difficile, et son auteur s'est donné beaucoup de peine. Pourtant il n'a satisfait aucune des parties intéressées.

On comprend aisément que ce projet n'ait pu donner aucune satisfaction à la pêcherie, car il ne s'en préoccupe pas et réserve à une législation spéciale de déterminer les droits de la pêcherie, ce qui est vraiment incompréhensible, attendu que les autres parties intéressées peuvent, au pis aller, s'accommoder d'une eau autre que celle de nos cours d'eau publics, tandis que la pêche, qui seule ne le peut pas, est laissée de côté dans le projet.

Nous doutons beaucoup qu'il soit possible de ne tirer rien d'utile de la multitude des avis qui ont été donnés sur ce projet et des nombreuses protestations et réclamations qu'ont fait valoir les divers intéressés. C'est à peine si, dans un délai fort éloigné, nous reverrons se renouveler cet essai, en soi pourtant très louable.

C'est regrettable, car c'est une opinion bien juste et dont on peut par conséquent trouver l'application dans un règlement destiné à préserver les eaux d'une pollution nuisible, que le principe sur lequel est basé le projet de 1894, à savoir que « certaines substances n'exercent une action nuisible sur la salubrité de l'eau » — et partant sur le poisson —, « que quand le rapport entre la quantité déversée et le volume d'eau que charrie la rivière qui les reçoit est trop élevé; tandis que d'autres substances sont nuisibles, quel que soit ce rapport ». Le projet établit, à juste titre, une distinction entre ces deux catégories de substances. Il n'interdit l'introduction de celles de la première catégorie, tant dans les cours d'eau qui coulent à ciel ouvert que dans les eaux souterraines, que pour autant que, d'après leur nature et leur quantité, elles puissent, soit nuire à la salubrité de l'eau ou de l'air, soit importuner sérieusement le public. Il laisse aux autorités le soin de déterminer quelles sont ces substances et dans quelles proportions elles peuvent ou ne peuvent pas être tolérées. Pour ce qui regarde les substances de la seconde catégorie, qui sont nuisibles quelles que soient leurs proportions, le projet en interdit formellement l'introduction, sauf dans le cas où il y aurait de puissantes raisons d'utilité publique pour la tolérer.

Ce sont des principes excellents qui, appliqués logiquement et en connaissance de cause, impliqueraient, il est vrai, certaines sévérités dans quelques cas particuliers, mais auraient pour conséquence de diminuer notablement la pollution des cours d'eau dans le royaume de Prusse. D'autre part, les conditions dans lesquelles se trouvent les cours d'eau dans le plus étendu des États de l'empire d'Allemagne sont si variées, qu'une loi, bien adaptée à ces conditions diverses, aurait

permis d'élaborer des ordonnances légales s'appliquant à tous les autres États de l'Empire, à l'exception peut-être des Alpes bavaroises, dont les rivières ne sont pas encore actuellement polluées sérieusement par les résidus de l'industrie. Elle pouvait établir, pour toute l'étendue de l'Empire, un état de choses permettant à l'industrie de se développer sans que les cours d'eau eussent trop à souffrir, et, tout au moins, sans y exterminer le poisson.

Nous emprunterons encore une citation à l'exposé des motifs de ce projet de loi, parce qu'elle reconnaît nettement et explicitement le droit et le devoir qu'a l'État de porter remède à la situation. La voici :

« L'eau est, après l'air, le plus important des besoins élé-
» mentaires de l'homme. Les intérêts les plus importants de
» la salubrité publique, que les progrès récents de la bactério-
» logie ont plus encore fait ressortir, sont en corrélation intime
» avec le maintien de l'eau et des cours d'eau à l'état de pureté.
» Au point de vue économique, ce maintien est aussi indispen-
» sable à l'utilisation de l'eau aux buts les plus divers, tandis
» que, d'autre part, il est impossible de déverser des résidus
» dans les cours d'eau sans leur causer un préjudice plus ou
» moins grand. Or, *on ne peut considérer comme suffisantes les*
» *lois actuelles* » du royaume de Prusse et, nous pourrions ajouter, les lois actuelles de tous les États civilisés.

Nous devons reconnaître que le moyen le plus commode et le plus simple de nous débarrasser des substances nuisibles que nos fabriques et nos installations ménagères déversent en excès dans nos cours d'eau, est d'en confier la destruction à nos cours d'eau eux-mêmes. Il est prouvé, en effet, que, par autoépuration, ces résidus deviennent progressivement de moins en moins nuisibles, et qu'après avoir été charriés par les rivières, sur un trajet plus ou moins étendu, selon leur nature et leur degré de concentration, ils finissent par se trouver réduits au point qu'on ne peut plus leur attribuer une action nuisible quelconque, directe ou indirecte, sur le poisson.

Mais si nous convenons que le moyen le plus commode et le

plus simple de nous débarrasser des résidus de l'industrie et de nos installations ménagères est de les rejeter simplement dans les cours d'eau; si nous comprenons, d'autre part, que les services d'inspection de l'État ont, pendant des années et dans l'intérêt, si important au point de vue économique, du développement de l'industrie, usé d'indulgence en tolérant que les eaux industrielles fussent éloignées par ce moyen commode, cependant, en dépit de la puissance actuelle de l'industrie, heureusement de jour en jour plus prospère, nous ne pouvons naturellement pas reconnaître aux industriels un droit qu'ils n'exercent qu'au détriment des autres facteurs intéressés, ceux-ci fussent-ils même largement dédommagés du préjudice qui leur est causé.

Agir de la sorte serait faire de nos cours d'eau publics la propriété privée de l'industrie, qui certes serait assez riche pour s'en assurer la possession.

Il ne peut et ne doit être question de laisser à l'industrie la propriété des cours d'eau publics, qui appartiennent à l'État. Nos cours d'eau, en effet, ne servent pas seulement aux intérêts de la pêcherie, mais ils sont encore des facteurs indispensables de l'hygiène publique, « dont les intérêts les plus importants sont en corrélation intime avec le maintien de l'eau et des cours d'eau à l'état de pureté »; ils sont, en outre, absolument nécessaires à l'activité du commerce et de l'industrie, et c'est comme tels qu'il faut les considérer en toute première ligne.

D'autre part, il semble impossible de retirer aux établissements industriels existants les droits qu'ils ont acquis grâce au laisser-faire de l'État; car ce serait placer subitement l'industrie dans l'alternative d'épurer convenablement ses eaux vannes au prix de sacrifices considérables, ou bien d'abandonner son exploitation.

Mais, en tout cas, il faut exiger que l'industrie existante s'arrête dans la voie qu'elle n'a malheureusement suivie jusqu'ici qu'avec trop d'indifférence, au détriment de la conservation des cours d'eau. Elle doit s'efforcer d'épurer ses eaux

résiduaires de façon à réduire au minimum la pollution de nos cours d'eau. Or, ce résultat peut généralement être atteint — nous admettons volontiers que, dans certains cas spéciaux, ce n'est qu'au prix de lourds sacrifices [1] — sans porter une atteinte sérieuse aux intérêts légitimes de l'industrie.

Les intérêts de l'industrie existante doivent être garantis autant que possible, parce qu'ils sont très importants au point de vue économique pour le pays, dont ils ne polluent d'ailleurs les cours d'eau que sur une étendue relativement minime. Ils doivent être garantis, même si le poisson doit disparaître dans la partie du cours d'eau comprise entre le débouché des eaux résiduaires et l'endroit où l'œuvre d'autoépuration est achevée.

Par contre, les autorités devraient veiller sévèrement à ce que les nouvelles usines qui s'établissent ne se servent des cours d'eau comme voie d'élimination de leurs eaux industrielles qu'à condition que les impuretés qu'elles y amènent ne puissent nuire.

Étant donné que pour le moment nous manquons encore

[1] C'est le cas notamment pour les eaux de nos mines. La puissance d'extraction est parfois si considérable, qu'il peut en résulter de graves inconvénients pour l'industrie. Lorsque ces eaux servent à l'irrigation, il convient, en raison des puissants intérêts agricoles qui entrent en jeu, d'obliger les exploitants des mines à dépouiller ces eaux des acides et du fer qu'elles contiennent, et à les clarifier. Reste encore leur teneur en chlorure sodique. Au point de vue des intérêts de la pêche, elle n'a guère d'importance; mais elle peut occasionner aux champs d'irrigation des pertes si considérables, que certaines exploitations minières ont dû être abandonnées, tant elles s'étaient suscité des difficultés.

C'est le cas encore pour les grandes exploitations agricoles, telles que les fabriques de sucre et d'amidon, dont la production journalière atteint plusieurs milliers de quintaux. Ces établissements méritent certainement quelque considération. Mais il faut bien dire que les fabriques de sucre notamment en prennent généralement à leur aise, jusqu'à ce que des procès les obligent à améliorer la situation ou que, par transaction et sans que l'autorité s'y oppose, elles *achètent* la tolérance d'un état de choses vraiment insupportable. Et pourtant les négligences de ces fabriques pourraient et devraient être réduites à une juste mesure.

de données expérimentales nous permettant d'apprécier exactement la valeur de ces impuretés, il doit paraître sans doute très difficile de fournir à ce sujet des indications numériques. Cependant, en collaboration avec M. le Prof[r] Hulwa, de Breslau, j'ai tenté d'élaborer un « projet de réglementation concernant l'élimination des matières sales dans les cours d'eau »[1]. En préparant ce projet, nous avions parfaitement conscience des difficultés qu'offrait la tâche que nous avait confiée, en 1897, une commission scientifique de la *Deutscher Fischerei-Verein*, d'autant plus que les ordonnances alors en vigueur[2] devaient être modifiées et que je m'étais efforcé déjà précédemment[3] de démontrer qu'elles ne pouvaient être maintenues.

Ce travail en commun avec M. le Prof[r] Hulwa fut présenté et discuté, en août 1898, à Schwerin, à l'occasion de la réunion de la Commission des pêcheries. Il fut publié à cette époque[4].

Dans la suite, il fut examiné avec soin par des industriels et des hygiénistes intéressés, de sorte que sa publication a été utile pour poser nettement la question qu'il avait abordée.

Nous n'avons pas manqué d'examiner attentivement les objections qui, à notre connaissance, ont été faites à notre projet dans d'autres conseils, et nous en avons tenu un juste compte, après nous être adjoint un précieux collaborateur, M. le Prof[r] O. Saare.

Notre projet de réglementation fut l'objet de vives critiques. Les industriels lui reprochèrent d'aller trop loin, tandis que les hygiénistes le blâmèrent, au contraire, de n'exiger de l'industrie que les mesures les plus pressantes ! Or, il avait, avant tout, été adapté aux besoins des pêcheries, et ces besoins

[1] *Entwurf zu einer Verordnung über die Abführung von Schmutzstoffen in die Gewässer.*

[2] Dans le duché de Bade, en Suisse et en Alsace-Lorraine.

[3] C. Weigelt, *Warum nimmt die Verunreinigung unserer Wasserlaüfe und die Entvölkerung unserer Fischgewässer in so erschrekkendem Masse zu?* (Zeitschrift für Fischerei, 1893.)

[4] *Allgemeine Fischereizeitung*, 1898.

tiennent, pour ainsi dire, le juste milieu entre les deux termes extrêmes : les exigences de l'industrie et celles de l'hygiène.

C'est ainsi que naquit le « Projet revisé de réglementation concernant l'élimination des matières sales dans les cours d'eau », que M. Hulwa et moi publiâmes en collaboration.

L'article 4 de ce projet s'attache à établir et à indiquer, pour une série de substances nuisibles à la pêcherie, quelles sont les valeurs-limites dont on ne peut tolérer la présence dans les eaux résiduaires. Il fut publié, au début de 1900, dans mon livre intitulé : *Vorschriften für die Entnahme und Untersuchung van Abwässern und Fischwässern nebst Beiträgen zur Beurtheilung unserer naturlichen Fischgewässer in die Oeffentlichkeit* [1].

Trois ans se sont à peine écoulés depuis cette entente avec nos collaborateurs, M. le Prof[r] D[r] F. Hulwa, de Breslau, et M. le Prof[r] D[r] O. Saare, de Berlin. Mais, dans l'intervalle, j'ai eu l'occasion de m'occuper plus spécialement des conditions de l'industrie chimique, et cette étude m'a suggéré de graves réflexions contre la possibilité d'exécution de certains articles de notre projet. Ces objections ont augmenté encore après la publication de l'arrêté ministériel prussien du 20 février 1901 [2]. Cet arrêté reconnaît la nécessité de prendre une série de mesures des plus pressantes; il tente de les accorder avec la législation allemande ou prussienne existante, et d'établir une inspection de surveillance utile à la conservation des cours d'eau.

Nous renonçons à transcrire ici notre « Projet revisé »; mais, par contre, nous nous sommes efforcé de le soumettre à un nouveau remaniement, en en excluant les valeurs-limites numériques, inapplicables à notre avis. Ce nouveau projet de réglementation, nous le libellerons de la manière suivante.

[1] *Verlag des Deutschen Fischerei-Vereins*, S. 249.

[2] Voir C. WEIGELT, *Fürsorge für Reinhaltung der Gewässer in Preussen. Eine preussische Ministerialverfügung vom 20. Februar 1901*. (Extrait des n[os] 16 et suivants de l'ALLG. FISCHEREI-ZEITUNG, 1901.)

Nouveau projet de réglementation concernant l'élimination des impuretés dans les cours d'eau.

Article premier. — Les établissements industriels *nouveaux*, qui pour se créer doivent ou ne doivent pas obtenir de concession, se conformeront strictement aux règles suivantes :

Art. II. — Il est défendu de rejeter dans les cours d'eau des déchets de quelque nature que ce soit, à moins qu'il soit démontré que leur destruction ou leur utilisation par consumation, par récupération ou de toute autre façon, n'est pas réalisable sans occasionner des dépenses exagérées.

Art. III. — Lorsqu'on accordera l'autorisation de déverser dans un cours d'eau des résidus sales, provenant d'habitations, de fabriques, d'établissements industriels ou d'établissements agricoles, les mesures prescrites par les articles suivants devront être observées, à condition que l'eau courante qui reçoit les résidus charrie, à basse eau, un volume d'eau assez important pour en assurer une dilution suffisante.

Art. IV. — Les déchets, avant d'être rejetés dans le cours d'eau et après avoir été *refroidis* si c'est nécessaire, doivent être rendus aussi inoffensifs que possible, par *clarification* ou *épuration* et par *dilution*.

1. Pour déverser des déchets dans les cours d'eau, il faut, sans exception, en avoir, au préalable, reçu l'autorisation des autorités.

Cette autorisation doit, dans chaque cas spécial, se baser sur des recherches faites par des experts, qui émettront leur avis en tenant compte des limites de nocuité établies par la science pour les facteurs intéressés à disposer d'une eau pure (hygiène, agriculture, pêcherie et industrie). Les experts devront, en outre, estimer les influences que subissent les substances nuisibles quelconques contenues dans les eaux résiduaires sous l'action de la dilution qu'assure le cours d'eau qui doit les recevoir, ainsi que des phénomènes d'auto-épuration chimique (pouvoir de neutralisation des acides, etc.)

auxquels on peut s'attendre d'après la composition chimique du cours d'eau récepteur.

On ne peut, pour le moment, fournir à ce sujet des chiffres ou des proportions fixes, certains.

2. Il est interdit de rejeter dans un cours d'eau :

a) Des eaux résiduaires contenant du chlore libre, des hypochlorites, de l'acide sulfureux, de l'acide sulfhydrique, des sulfures métalliques solubles ou des cyanures, dans une proportion supérieure à la quantité minima que l'on peut directement y déceler par voie chimique.

b) Des substances solides putrides ou pouvant facilement subir la putréfaction fétide, par exemple des cadavres, des débris de viande, des raclures de peaux (tanneries), du sang coagulé, des matières fécales et du fumier.

c) Des liquides putrides ou pouvant facilement subir la putréfaction fétide, par exemple les eaux d'égout des villes et autres liquides semblables, s'ils n'ont, au préalable, été dilués de telle sorte qu'ils semblent ne pouvoir plus subir des processus de putréfaction fétide.

d) Des hydrocarbures (pétrole, goudron, etc.) et des graisses en quantités telles que l'on puisse nettement en constater la présence.

e) Des solutions de chaux vive, à moins qu'elles n'arrivent dans le cours d'eau dans un état de dilution tel qu'en aval de leur point de débouché on ne puisse plus observer de réaction alcaline nette.

3. Les eaux résiduaires chaudes doivent être refroidies de telle sorte que leur température, au moment de leur entrée dans le cours d'eau, n'excède pas 30° Celsius.

4. On veillera avec les plus grands soins à ce que les eaux résiduaires qui ont été soumises à l'épuration chimique avant d'être rejetées dans un cours d'eau public ne puissent en augmenter la teneur en sels minéraux solubles.

5. Les *eaux résiduaires épurées*, c'est-à-dire rendues aussi inoffensives que possible, *ne pourront arriver par saccades*, *par*

intermittence, dans les cours d'eau. Elles devront y être amenées en un courant continu, uniformément réparti sur la durée journalière du travail. ou mieux encore sur la durée totale de la journée de vingt-quatre heures, et, quand ce sera possible, on les amènera par des tuyaux dans leur conduite principale. Ces précautions sont nécessaires pour qu'il puisse s'effectuer un mélange rapide et certain avec l'eau de dilution du cours d'eau récepteur. On pourra employer tout autre procédé assurant ce mélange, ainsi qu'une aération consécutive.

Art. V. — Pour ce qui regarde les établissements existant au moment de la promulgation du présent règlement, leurs exploitants sont astreints à prendre les mesures qui, conformément à l'état actuel de la science, réduisent, dans la moindre mesure possible, les inconvénients existants, sans pourtant que ces mesures puissent compromettre l'existence économique de ces établissements.

Art. VI. — Lorsque, par suite de pénurie d'eau, il semblerait impossible de diluer suffisamment les eaux résiduaires, il faudra tendre à séparer les divers résidus d'*un même* établissement industriel par épuration ou par destruction des éléments nuisibles.

Art. VII. — Si, après avoir accompli une épuration chimique, on ne pouvait, par suite du manque de place suffisante, enlever qu'au prix de dépenses démesurées les réactifs qui auront dû être employés en excès pour obtenir l'épuration, la chaux vive par exemple, on accordera à cet effet, comme zone de mélange, une étendue du cours d'eau récepteur de 150 mètres au maximum en aval. Cette étendue, au delà de laquelle on ne pourra tolérer la présence manifeste des réactifs d'épuration non transformés, sera calculée à partir du dernier débouché des eaux résiduaires dans le cours d'eau récepteur. Elle ne sera accordée qu'en échange d'un dédommagement complet des pertes subies de ce chef par la pêcherie. Il faudra donc que la chaux vive ou le sel de fer, par exemple, employé pour l'épuration, ne puisse plus se constater, sous forme soluble, à 150 mètres en aval du débouché des eaux vannes dans le cours d'eau.

Art. VIII. — Chaque fois que tout autre procédé, capable de fournir une épuration satisfaisante, paraîtra ne pouvoir être employé en raison des dépenses exagérées qu'il occasionnerait, on sacrifiera aux eaux résiduaires *imparfaitement* épurées une partie du cours d'eau, afin d'en obtenir l'autoépuration. *Toutefois ce sacrifice ne pourra jamais être fait en faveur de déchets bruts, non épurés.* En général, on ne pourra revendiquer, pour cette autoépuration, une étendue du cours d'eau de plus de 3 kilomètres, cette étendue étant calculée en aval, à partir du dernier débouché des eaux résiduaires dans le cours d'eau. Elle pourra atteindre au minimum 5 kilomètres dans le cas où il existerait plusieurs facteurs de pollution.

Il faut considérer comme rentrant dans cette derniere catégorie, des établissements industriels et certaines habitations qui déversent des eaux vannes dans les cours d'eau, — hôpitaux, établissements d'équarrissage, écuries, — lorsque la distance qui les sépare, mesurée entre le débouché des eaux résiduaires, situé en amont, et celui qui est en aval, ne dépasse pas 500 mètres. Les réclamations des tiers — pêcherie, agriculture — lésés par ces « étendues sacrifiées » du cours d'eau seront satisfaites dans une juste mesure ou mieux encore réglées à l'amiable.

Le projet de réglementation que nous venons d'exposer établit, comme nous l'avons dit, une distinction essentielle entre les établissements industriels nouveaux, à créer, et ceux qui existent. Les articles I à IV prescrivent les conditions dans lesquelles il faut exiger que se trouvent, dans l'intérêt de nos cours d'eau, les eaux industrielles des établissements nouveaux pour y être déversées. Les articles V à VIII indiquent, pour ce qui concerne les établissements industriels existants, les mesures strictement nécessaires, appelées à améliorer les conditions des eaux résiduaires dans l'intérêt de nos cours d'eau.

Nous ajouterons quelques commentaires spéciaux relatifs aux divers articles de ce projet.

Art. II. — L'expression « sans occasionner des dépenses

exagérées » est vague et élastique. Il nous a paru impossible de préciser davantage, non seulement parce qu'elles sont trop diverses et multiples les industries dont il nous fallait apprécier ici les eaux résiduaires au double point de vue de leur quantité et des substances nuisibles qu'elles peuvent contenir, mais encore parce que, dans l'estimation des dépenses à occasionner, il faut tenir compte, d'une part, de l'état de fortune du propriétaire de l'établissement et, d'autre part, de la nécessité de ne pas enrayer l'extension de l'industrie. Il fallait donc nous borner à exprimer le désir que, grâce aux procédés éprouvés dont nous disposons, l'interdiction stipulée dans cet article II du projet de règlement ne pût créer des difficultés insurmontables aux nouveaux établissements industriels.

Art. III. — L'expression « pour en assurer une dilution suffisante » que nous employons paraît aussi peu précise. Cette expression signifie pourtant que l'on ne peut, au point de vue des intérêts de la pêcherie et de l'hygiène, déverser dans le cours d'eau récepteur une quantité d'eau sale, industrielle ou d'autre origine quelconque, plus considérable que celle qu'il peut recevoir sans porter préjudice à un utile travail d'autoépuration. Il n'est pas rare que l'industrie existante exige actuellement la moitié, et même plus encore, de la totalité de l'eau que charrient les ruisseaux, pour l'y redéverser après l'avoir souillée, ce qui rend impossible l'assainissement de ces cours d'eau sur une longue étendue en aval. Cet état de choses ne pourra plus se produire à l'avenir, si l'on applique la mesure prescrite par l'article III de notre projet.

Art. IV. — L'obligation de refroidir, de clarifier et de diluer les déchets avant de les amener dans les cours d'eau exprime implicitement qu'il sera défendu à l'avenir aux nouveaux établissements industriels de déverser dans les cours d'eau des eaux vannes brutes. Nous n'ignorons pas qu'avec nos moyens actuels il n'est guère encore possible d'atteindre le degré d'épuration désirable. C'est cet aveu, malheureusement nécessaire, de notre insuffisance actuelle qu'implique l'expression que

nous avons employée : « doivent être rendus aussi inoffensifs que possible ».

L'article IV 1 remplace des données numériques que j'avais précédemment indiquées pour une série de substances. En effet, en me fondant sur de nouvelles informations, j'estime actuellement que ces données n'étaient pas suffisamment établies. L'article dit que « pour déverser des déchets dans un cours d'eau, il faut, sans exception, en avoir reçu l'autorisation des autorités ». — En Prusse, comme dans le reste de l'Allemagne, cette autorisation n'est pas encore actuellement obligatoire, car la réglementation industrielle de l'Empire établit une distinction entre « industries qui doivent être autorisées par une concession et industries pour lesquelles l'obtention d'une concession n'est pas obligatoire ». On dit que l'un des grands États fédérés de l'Allemagne se propose de défendre d'une façon absolument générale, par une loi, le déversement des eaux résiduaires sales dans les cours d'eau, ce qui aurait pour conséquence de modifier la réglementation industrielle de l'Empire en ce qui concerne du moins la distinction sus-mentionnée entre les établissements industriels.

En stipulant que l'autorisation ne peut être accordée dans chaque cas spécial que sur avis d'experts, l'article qui nous occupe suppose l'existence d'experts de tous genres, qui, pour être en nombre suffisant, devraient être des fonctionnaires des institutions publiques auxquelles serait confié le soin de semblables recherches.

La Prusse a créé récemment (1er avril 1901), sur les instances de M. Schmidtmann, un « Institut de recherches et d'expériences relatives à la protection de l'eau et à l'élimination des eaux résiduaires [1] ». Cet Institut, qui est administré par M. Schmidtmann, a pour directeur le bactériologiste bien connu, M. le Profr Dr C. Günther, qui dispose d'une série de collaborateurs, tous hommes de science (chimistes, botanistes, zoologues).

[1] *Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung.*

L'Institut n'a pas encore produit de publications. Il s'occupe essentiellement des besoins de l'État, par exemple des demandes de concession tendant à utiliser les cours d'eau pour recevoir des eaux résiduaires, etc. Mais des particuliers peuvent bien aussi lui faire exécuter des recherches, comme le prouve la publication d'un tarif. Actuellement, cet Institut ne s'occupe malheureusement pas encore d'enseignement.

Il n'est guère admissible qu'à la longue un seul institut puisse suffire à tous les services qui lui seront réclamés par la Prusse tout entière. Il faudra, pour satisfaire à ses charges, adjoindre à l'Institut central de Berlin d'autres établissements provinciaux, travaillant en connexité étroite avec lui.

On nous dit qu'en Bavière on prépare aussi la fondation d'un institut qui aura à s'occuper des questions relatives aux eaux résiduaires. Or, ce que peuvent produire des instituts de ce genre en Prusse ou en Allemagne, pourrait aussi être obtenu par d'autres nations.

Le libellé des article IV 2 *a*, *b* et *d* ne peut rencontrer de difficultés spéciales.

Mais l'article IV 2 *c* peut préparer, surtout aux fabriques de sucre et d'amidon, des difficultés en apparence insurmontables. Cependant l'hygiène moderne nous a appris que les mesures édictées par cet article peuvent être réalisées en ce qui concerne les eaux d'égout des villes. Les nouveaux établissements d'industries agricoles devront accepter que l'hygiène leur impose les mêmes conditions.

L'article IV 2 *e* est destiné à prévenir l'arrivée, dans le cours d'eau, de solutions de chaux vive, qui sont extrêmement nuisibles. Comme il stipule que, « en aval de leur point de débouché, on ne devra plus observer de réaction alcaline nette, » il exige, par conséquent, que les eaux résiduaires ne soient que faiblement alcalines avant leur arrivée dans la rivière réceptrice, ce qui semble très légitime, étant donnée la toxicité de la chaux vive. Si l'on admettait qu'au moment de leur arrivée dans le cours d'eau récepteur ces eaux peuvent être fortement alcalines et qu'on ne voulût obtenir la réduction de

leur alcalinité que par le mélange avec l'eau du cours d'eau récepteur, la zone dans laquelle ce mélange s'effectuerait serait très nuisible au poisson.

Les articles IV 3, 4 et 5 ne peuvent guère soulever d'objections légitimes. Chacun considère que les mesures qui s'y trouvent préconisées sont nécessaires et pratiquement réalisables. Leur application à tous les établissements industriels existants serait très désirable et pourrait être obtenue sans difficultés.

Mais nous ne pouvons imposer *à l'industrie existante* des mesures aussi sévères que celles que nous pouvons exiger des établissements nouveaux qui se créent. Nous risquerions souvent de compromettre leur existence économique.

L'article V indique que l'état de choses qui a existé jusqu'ici ne sera pas modifié.

L'article VI renseigne, pour le cas où il serait impossible de diluer suffisamment les eaux résiduaires, un expédient auquel peuvent naturellement aussi recourir les nouveaux établissements, bien que l'article ne le mentionne pas, parce que cela n'a pas paru nécessaire. Cependant il ne faut y avoir recours que s'il se présente des impossibilités techniques à l'obtention de la dilution des eaux résiduaires.

L'article VII a aussi été inspiré par le désir d'user de ménagements équitables vis-à-vis des établissements industriels. En même temps, il s'efforce de garantir les droits des tiers.

L'article VIII est destiné à obvier aux circonstances les plus fâcheuses, en sacrifiant une partie du cours d'eau, qui est irrémédiablement perdue pour la pêche et l'hygiène.

D'autre part, en interdisant l'introduction d'*eaux résiduaires absolument brutes*, cet article s'efforce d'améliorer la situation dans la limite du possible. Il faudra exiger, selon les circonstances, toute mesure capable d'améliorer les eaux résiduaires sans compromettre l'existence de l'industrie intéressée.

Cet article tient équitablement compte de l'intervention simultanée de plusieurs facteurs de pollution des eaux. Tout en s'efforçant de restreindre les préjudices qu'ils causent, il

ménage autant que possible les droits effectifs ou apparents de l'industrie.

Nous écartant en cela du projet prussien de 1894, nous n'admettons pas que l'on puisse permettre de laisser écouler les eaux résiduaires dans le sous-sol. Comme nous l'avons dit précédemment, nous estimons que l'on ne peut autoriser à laisser s'écouler les eaux résiduaires dans la nappe souterraine que dans des cas exceptionnels, lorsqu'il s'agit d'eaux résiduaires sans importance en raison de leur quantité et de leur composition chimique.

C'est avec soin, scientifiquement et en nous fondant sur une longue expérience, que nous nous sommes efforcé d'envisager d'une façon équitable les conditions qui se trouvent réalisées. Si nous n'y sommes pas parvenu, on peut chercher à améliorer notre travail, à le transformer et à l'adapter mieux encore, tant à la nécessité indiscutable qu'il y a de remédier à la salubrité de nos cours d'eau, autrefois irréprochable, qu'au désir bien légitime qu'a l'industrie de travailler activement et d'obtenir des résultats économiques rémunérateurs.

La situation est urgente!

Si l'on parvenait à faire une réglementation sérieuse, on aurait certes beaucoup obtenu dans l'intérêt de la conservation des cours d'eau. Et pourtant, même avec ce règlement et avec un service de surveillance idéal, les conditions ne seraient pas encore trop salubres. Nous avons vu que nous disposons actuellement de nombreux procédés capables d'atténuer les préjudices occasionnés par les eaux vannes des villes et des établissements industriels; mais cet arsenal ne suffit pas encore pour lutter contre tous les inconvénients qui en résultent. Cependant, il n'est nullement impossible d'obtenir un état de choses supportable.

C'est avec un orgueil légitime que l'industrie allemande est fière de nos écoles techniques d'enseignement supérieur, et l'étranger admire le soin que l'on y apporte à enseigner à nos jeunes étudiants toutes les branches de la science. Et pourtant, il y a peu d'années encore, l'étude de l'épuration des eaux

industrielles et ménagères était complètement méconnue. Si nous avons dit plus haut que l'État a, dans l'intérêt de tous ses administrés, le devoir incontestable d'étudier avec sollicitude la question de la réglementation des cours d'eau, il doit aussi nécessairement veiller à ce que cette importante et multiple branche de la science soit maintenant aussi enseignée dans ses établissements d'instruction. Cet enseignement ne devrait pas être restreint aux écoles supérieures. Dans les écoles techniques de l'enseignement moyen, on devrait aussi attirer l'attention des élèves, non seulement sur l'importance que, parmi les sciences techniques, présente, d'une façon générale, l'étude des eaux résiduaires au point de vue de leur utilisation, mais encore sur les préjudices qu'elles peuvent et doivent causer aux principaux facteurs du bien-être général et du développement économique de leur pays.

Mais ce n'est pas seulement dans l'intérêt des étudiants techniciens que l'Etat ne peut pas oublier ce devoir qui lui incombe; il ne peut non plus s'y soustraire si, comme il le doit, il veut assurer une surveillance efficace des cours d'eau.

Le fonctionnaire appelé à remédier à un état de choses existant doit connaître les causes et les effets; sans cela, la surveillance la plus scrupuleuse ne peut donner des résultats sérieux Il faut, en outre, qu'indépendamment de connaissances assez étendues concernant les diverses industries, il connaisse aussi les préjudices qu'elles peuvent occasionner, qu'il dispose et apprenne à se servir des instruments, d'ailleurs peu nombreux, qui lui permettent de se faire un jugement sérieux sur l'état de choses existant. Un service de surveillance confié à des hommes qui ne sauraient apprécier des faits, qui ne se voient souvent pas et qu'ils ne peuvent observer qu'à l'aide de certains instruments, ne pourrait fournir aucun résultat utile.

Résumons ce que nous considérons comme indispensable, en tant qu'*intervention de l'État*, pour assurer la conservation des cours d'eau.

1° Il faudrait promulguer une loi sur le régime des eaux.

Par des arrêtés organiques d'application [1], elle réglerait entre autres l'utilisation de nos cours d'eau comme voies d'élimination des eaux industrielles et des déchets de cuisine et de maison; elle déterminerait dans quelles proportions ces substances doivent s'y trouver pour être considérées comme étant en excès et dans quelles proportions on peut les déverser dans les eaux courantes.

2° L'exécution de ces arrêtés, de ces règlements, devrait être confiée à une inspection, à une surveillance légale, bien organisée et sévère, qui ferait son devoir sans qu'il fût nécessaire qu'une plainte eût été portée par une personne lésée.

3° Tant dans l'intérêt de l'instruction des experts de l'État (fonctionnaires de la surveillance industrielle, organes du service de salubrité) que dans l'intérêt de l'instruction des experts publics et surtout des étudiants techniciens, on veillerait à ce que l'étude de l'épuration des eaux résiduaires et de la conservation de nos cours d'eau fût enseignée dans les établissements d'instruction publique. Dans ce but, on créerait des chaires nouvelles, particulièrement dans nos écoles techniques d'enseignement supérieur.

Voilà quelle devrait être la part de l'intervention de l'État dans la protection de nos cours d'eau contre les préjudices présents et futurs, que la pollution des eaux cause aux groupes intéressés qui, dans leur intérêt, ont besoin d'eau pure.

Mais il ne nous est pas encore possible actuellement de satisfaire à toutes les nécessités, *car en dépit des moyens remarquables et bien éprouvés dont nous disposons aujourd'hui, nous sommes malheureusement encore désarmés vis-à-vis de certaines eaux résiduaires !*

[1] Dans l'intérêt même de tous les facteurs intéressés à l'utilisation de l'eau, une loi ne peut indiquer qu'en traits généraux ce qu'il est interdit de faire pour protéger les cours d'eau de la pollution. Les dispositions précises à cet égard doivent être prises par des arrêtés organiques, par des règlements. Les règlements peuvent, en effet, plus facilement que les lois, se modifier et s'améliorer conformément aux progrès de la science et de la pratique.

Qui donc complétera nos connaissances et comment apprendrons-nous à vaincre ces difficultés?

Nous avons dit que les principales intéressées à disposer d'une eau pure sont la pêcherie et l'agriculture, l'hygiène et l'industrie.

Parmi ces intéressées, la pêcherie et l'agriculture ont comme unique intérêt de disposer d'une eau pure. Elles n'ont pas besoin des cours d'eau pour y jeter des résidus. L'hygiène, elle, exige de l'eau pure, il est vrai; mais en raison même de certains intérêts qui lui tiennent de très près, elle revendique, à l'occasion, le droit de se servir des cours d'eau pour éliminer des substances résiduaires qui ne peuvent être rejetées ailleurs, tout en s'efforçant cependant, dans son propre intérêt, de restreindre au minimum la quantité de substances nuisibles qu'elle doit inévitablement y déverser.

Seule, l'industrie, bien qu'elle ait également besoin d'eau pure, n'y songe qu'en dernier ressort. Pour elle, les cours d'eau sont avant tout des voies d'élimination de ses déchets, qu'elle considère comme indispensables. Ceux qui se trouvent en aval n'ont qu'à se contenter de ces impuretés.

Mais le réseau des établissements industriels devient de jour en jour plus serré et rend, de jour en jour aussi, nos cours d'eau plus malsains. Les riverains situés en aval en souffrent et leur intentent des actions en justice. Or, comme nos lois, si insuffisantes qu'elles soient, interdisent pourtant de polluer les cours d'eau d'une façon exagérée et punissent les contrevenants aux dispositions légales, notamment en prenant en considération les plaintes en dommages-intérêts, il en résulte que l'industrie qui produit des eaux résiduaires se trouve actuellement dans une situation peu enviable. Quand nous disons l'industrie, ce n'est pas, en fait, l'industrie comme telle dans son ensemble, mais plutôt des centaines d'établissements industriels en particulier! Chacun de ces prévenus lutte pour son bon droit, cherche à se tirer d'affaire comme il le peut, mais aucun ne vient en aide aux autres.

C'est ainsi qu'actuellement il n'y a pas beaucoup de

fabriques de sucre qui ne soient pas menacées de procès ou d'une décision judiciaire, et qui n'aient à se défendre de lourdes réclamations en dommages-intérêts.

Il est réellement honteux pour l'industrie que le souci de la concurrence ait été tel que, même les divers groupes industriels intéressés n'aient que rarement songé jusqu'ici à se solidariser pour prévenir les préjudices qu'ils causent en commun à la conservation des cours d'eau. Chaque établissement industriel opérant pour son seul compte, les choses vont tant bien que mal. Il arrive que, sous la menace d'une condamnation, des essais, même dispendieux, sont effectués; mais il est très rarement question de former une association ayant pour but de travailler et d'étudier en commun les moyens d'enrayer utilement toute pollution commune de l'eau, ce qui mettrait un terme à toute menace de procès individuels ainsi qu'aux ennuis et aux frais qu'ils suscitent.

Tout établissement industriel est insouciant et n'est pas inaccessible « à la joie la plus pure, à la joie maligne » jusqu'à ce que le destin s'en mêle.

Or, ce destin devient de jour en jour plus menaçant, et grâce surtout à la multitude des réclamations légitimes de l'hygiène, la surveillance de l'État commence à devenir de plus en plus rigoureuse.

Il est grand temps que l'industrie tout entière apprenne à réduire à un minimum la pollution de l'eau, qui a existé jusqu'à ce jour.

Il y a longtemps déjà que, dans son intérêt personnel et pour répondre aux exigences, souvent peu légitimes, parce que irréalisables, des tribunaux, la pêcherie, qui y était avant tout intéressée, s'est appliquée à découvrir des bases qui permissent d'apprécier les effets produits sur le poisson par les éléments des eaux industrielles. Depuis plus de trente ans, la *Deutscher Fischerei-Verein* a eu tout spécialement le mérite d'accorder à ces questions une attention particulière. En fait, tout ce que nous avons exposé plus haut concernant l'influence nuisible qu'exercent sur le poisson les eaux industrielles est le résultat

de l'impulsion donnée par la *Deutscher Fischerei-Verein* ou par d'autres défenseurs des pêcheries.

Il y a des années déjà, le Président de cette Société adressait aux administrations de l'enseignement des États allemands, en la motivant d'une façon très circonstanciée, une requête tendant à voir prendre en considération par les écoles techniques et les établissements d'enseignement supérieur régis par elles, l'étude de l'épuration des eaux résiduaires et des moyens d'empêcher la pollution des cours d'eau. Il voulait ainsi parer à la pénurie d'experts en la matière et à l'absence de connaissances des jeunes techniciens relativement à ces questions, afin d'enrayer le préjudice de plus en plus important subi par la pêcherie. Mais cette tentative n'eut aucun résultat digne d'être signalé.

Déjà à la fin de 1870, dans l'intérêt de mes recherches sur l'action nuisible exercée sur le poisson par les éléments des eaux industrielles, j'ai insisté sur la nécessité de créer des laboratoires destinés à s'occuper de ces questions. J'ai eu le plaisir de constater que, dans l'intérêt des pêcheries, on est entré de plus en plus dans mes vues.

Les stations agricoles expérimentales ont étudié avec soin l'action nuisible — et l'action utile — qu'exercent sur le sol et les substances nutritives des végétaux, les divers éléments que l'on met au contact de la racine des plantes.

L'hygiène surtout, après les conquêtes de la bactériologie moderne, s'est efforcée de trouver les moyens de combattre les éléments qui sont en opposition avec ses intérêts.

A ce sujet, nous devons particulièrement rendre hommage aux efforts qui ont été faits par M. le Dr A. Smidtmann, l'éminent conseiller au Ministère prussien des cultes, de l'instruction publique et des affaires médicales. C'est à sa puissante influence que nous devons l'excellent règlement du 20 février 1901 [1],

[1] Ce règlement, signé par cinq ministres intéressés, ne s'applique, bien entendu, qu'aux lois et arrêtés du royaume de Prusse. Cependant, en raison des principes généraux qui s'y trouvent consignés, nous

ainsi que la fondation de l'Institut royal de Prusse, dont nous avons parlé précédemment.

Le directeur d'un institut de l'État ne peut naturellement pas agir assez librement quand un accident survient dans un établissement industriel privé. Lors même qu'il est disposé à venir en aide à des particuliers, il est toujours arrêté par les instances qui sont faites auprès de lui.

Il hésite à intervenir et le temps passe, tandis qu'il y a urgence!

Les résultats acquis par les stations agricoles expérimentales ne seraient guère aussi importants qu'ils le sont si l'expérimentation agronomique s'était trouvée exclusivement aux mains de l'État. Nous ne méconnaissons nullement le mérite que se sont acquis les stations expérimentales de l'État dans l'étude attentive de questions importantes au point de vue scientifique; mais les résultats les plus brillants sont pourtant dus aux stations expérimentales des sociétés agricoles, dont les directeurs, aidés par la confiance de leurs curateurs et par les sacrifices que s'est imposés l'agriculture de leur région, ont pu en tout temps appliquer les données scientifiques acquises. C'est précisément à cette combinaison, presque illimitée, de la science et de la pratique, que les directeurs de ces stations doivent les meilleurs résultats de leur activité. Nous en avons pour témoins les noms de Paul Wagner, Max Märker et Max Delbrück, par exemple.

C'est dans ce sens que l'industrie devrait créer des instituts, non seulement dans le but de venir en aide à telle ou telle fabrication, comme l'ont établi déjà certains groupes industriels, mais tout spécialement pour combattre les préjudices causés par la pollution de l'eau, dans l'intérêt le plus rigoureux de l'industrie et du public!

estimons qu'il pourrait aussi être appliqué aux lois en vigueur en dehors de la Prusse. Dans l'*Allgemeine Fischereizeitung* de 1901, j'ai soumis ce règlement à une discussion critique, sur laquelle je me permettrai d'attirer ici l'attention.

Nous ne discuterons pas la question de savoir si, comme le veut M. Schmidtmann, il faudrait tendre à réaliser « une association avec les pouvoirs publics ». La *Deutsche Land-wirtschafts-Gesellschaft*, par les résultats bien connus de son activité, a prouvé que l'on peut rendre de grands services sans cette association.

Si nous recherchons ce que l'industrie a accompli jusqu'ici dans cette direction, par comparaison avec la pêcherie, l'agriculture et l'hygiène, cette comparaison est absolument lamentable.

Il faut signaler, il est vrai, que certains groupes industriels, à l'exemple de la pêcherie et de l'agriculture, ont commencé, et avec succès, à fonder des prix importants en vue de résoudre des questions urgentes qui nous intéressent aussi. Citons l'industrie de la fabrication du papier, dans le but d'empêcher ses eaux résiduaires de nuire aux cours d'eau, et l'industrie de la fabrication du sucre, dans le but de conserver ses rognures, question qui nous intéresse indirectement aussi.

Mais si l'on fait abstraction de quelques cas de ce genre, on n'a jamais, à notre connaissance, eu l'idée de chercher à remédier radicalement à la situation par la création de stations scientifiques, qui auraient pour objet de chercher la solution pratique des questions très nombreuses qui nous intéressent ici.

Il n'y a réellement pas d'autre moyen d'éviter les conséquences funestes des eaux industrielles. L'industrie, en tant qu'entité, ne s'est pour ainsi dire pas souciée de ces questions; les groupes industriels pris isolément s'en sont préoccupés fort peu; quant aux industriels privés, il s'en sont souciés beaucoup, au point de vue, du moins, des frais que maints d'entre eux ont eu à supporter.

Certains établissements industriels ont dû dépenser beaucoup d'argent pour lutter contre des réclamations légitimes ou illégitimes, sans que par là nous ayons fait un pas.

Partout on a agi pour son propre compte et malheureusement sans se préoccuper le plus souvent d'accomplir un tra-

vail utile, comme le prouvent les « recettes » que l'on a préconisées pour l'épuration chimique, recettes sur la valeur scientifique et pratique desquelles nous nous sommes prononcé plus haut.

Voyons une fois encore comment se résout actuellement un litige de ce genre.

Une fabrique quelconque ne s'était auparavant pour ainsi dire pas préoccupée d'épurer ses eaux résiduaires. Un jour, réaction habituelle, le poisson du cours d'eau récepteur meurt, — en supposant qu'il y existât encore du poisson en aval du débouché des eaux vannes de la fabrique, – ou bien la fabrique est menacée d'un procès par un établissement industriel situé en aval, parce que l'eau est trop fortement polluée. Le fonctionnaire préposé à la surveillance industrielle porte le fait à la connaissance du fabricant, qui, naturellement informé déjà, est prêt à remédier à la situation. Mais que pouvons-nous faire actuellement ?

Le fonctionnaire surveillant, en admettant même qu'il connaisse un moyen de résoudre la question, est d'autant moins tenu à donner un conseil que l'État, à notre avis, ne peut exiger ni même recommander l'installation d'un procédé d'épuration déterminé. *L'autorité peut bien interdire la pollution des cours d'eau, mais c'est à l'industriel intéressé qu'il appartient de trouver ce qu'il doit faire pour remédier à la situation.* S'il en était autrement, l'État ou son surveillant assumerait une lourde responsabilité, qu'il doit d'autant moins prendre que les procédés se perfectionnent de jour en jour, grâce aux progrès continuels de la science et de la pratique.

Admettons donc que quelqu'un recommande une mesure, un procédé ou une expertise, qui doive remédier à l'état de choses existant.

Supposons que le conseil donné soit bon, ou plutôt que, sans remédier complètement à la situation, il l'améliore pourtant un peu, bien que l'amélioration obtenue puisse n'être pas proportionnée aux dépenses occasionnées. Le service d'inspection est satisfait et l'industriel aussi, jusqu'à ce qu'il se

reproduise des inconvénients qui obligent à de nouveaux essais et à de nouvelles installations plus ou moins coûteuses.

Les autorités, la justice et l'établissement situé en aval insistent; l'industriel voit recommencer les tracasseries et les frais, et c'est alors que se présente « l'inventeur », qui promet son assistance sans malheureusement pouvoir la donner effectivement. L'industriel, sans connaître suffisamment par lui-même ce qui peut être réalisé, met la main à l'œuvre. L'installation est établie, mais on ne tarde pas à s'apercevoir que cela a été sans utilité et que le capital sacrifié est perdu.

Si les inconvénients que nous venons de faire ressortir surviennent surtout à la petite industrie, qui manque de directeurs suffisamment instruits, et si ces accidents n'occasionnent alors que des sacrifices relativement minimes, cependant des cas semblables se sont aussi présentés, à notre connaissance, pour de grands établissements industriels, qui disposaient de chimistes ou de techniciens diplômés et qui ont dû consacrer des sommes considérables, 50 000 marcs et même davantage, à des installations d'épuration ou à des appareils spéciaux, sans atteindre pourtant le résultat désiré et alors qu'à moindres frais on aurait obtenu des résultats plus satisfaisants.

Nous sommes habitués aujourd'hui à entendre faire, dans le monde entier, l'éloge de l'industrie allemande, de la sûreté de son travail; il y a longtemps qu'a cessé le discrédit que l'on jetait autrefois sur ses produits en les qualifiant de « bon marché et mauvais »; il y a longtemps que le « made in Germany » est devenu un titre d'honneur pour les produits allemands. Mais le mot de F. Reuleaux s'applique toujours aux procédés d'épuration des eaux résiduaires.

Si la surveillance fait défaut, il n'est pas rare qu'un procédé réellement bon, utile et pratique ne donne pas tous les résultats qu'il peut fournir, parce qu'on lésine sur les matériaux nécessaires à l'épuration. C'est ainsi que l'on a fini par discréditer maint bon procédé.

En réalité, dans tous ces efforts, il ne manque trop fréquemment que le sérieux, la conscience de la responsabilité vis-à-vis des cours d'eau publics.

Nous reconnaissons volontiers que le jugement sévère que nous venons de porter est trop général, que maints industriels, même sans y être contraints, ont le désir de remédier aux préjudices qu'ils portent, par nécessité, aux cours d'eau et sont même prêts à faire des sacrifices dans ce but. Mais on ne peut pas toujours actuellement, même avec la meilleure volonté, atteindre le but désiré.

L'industrie devrait comprendre, plus généralement que ce n'est malheureusement le cas aujourd'hui, qu'elle a le devoir, dans son propre intérêt, de chercher des remèdes à la situation.

Ces remèdes, l'industrie dans son ensemble ne peut les obtenir qu'en fondant à sa solde des stations expérimentales qui, par un travail minutieux, chercheraient à résoudre les nombreuses questions à éclaircir.

On pourrait nous objecter que nous avons prétendu plus haut que l'État a le devoir de créer des instituts de ce genre, pour venir en aide aux professeurs qui seraient appelés à enseigner ces questions.

A cela nous répondrons que s'il est vrai que nous serions satisfaits que l'État nous fournît pour le moment des professeurs qui ne répondent qu'à la nécessité la plus urgente, la mesure que nous préconisons aurait pour conséquence que les instituts purement académiques ne seraient pas les seuls dont nous disposerions. Nous répondrons, en outre, qu'il nous faudrait attendre plus de dix ans avant de disposer d'instituts bien établis et suffisamment pourvus de tout ce qui est nécessaire pour entreprendre les expériences en rapport avec leur but pratique.

Un établissement de ce genre pourrait être la propriété d'une société qui se constituerait pour le fonder et dont les membres auraient, en première ligne, le droit de s'en servir. Les recherches scientifiques proprement dites seraient pratiquées dans les laboratoires de l'établissement, doté des travailleurs nécessaires pour étudier les différentes branches de la science qui se rattacheraient au but poursuivi, pour autant,

bien entendu, qu'il ne s'agirait pas de recherches et de déterminations qu'il serait nécessaire de faire sur place.

Selon les besoins des différents groupes de l'industrie, on pourrait créer des instituts secondaires, qui devraient pourtant rester en harmonie parfaite avec l'établissement ou l'institut principal, afin de pouvoir faire profiter l'intérêt général des expériences faites dans d'autres industries. Ces instituts devraient travailler d'après un plan unique, afin d'éviter autant que possible un double emploi.

Ils seraient pourvus d'une bibliothèque suffisante. Les observations spéciales seraient réunies et publiées, soit dans un organe nouveau à fonder, soit dans un des périodiques affectés actuellement à un but semblable.

Naturellement il ne serait pas nécessaire de fonder une société spéciale. L'une des grandes associations industrielles actuelles pourrait parfaitement prendre en main cette affaire et lui donner une organisation convenable.

Pour rendre des services, une institution de ce genre devrait pouvoir envoyer immédiatement sur place l'un de ses fonctionnaires experts, pour prendre connaissance de la situation et pour élaborer ensuite le projet d'une amélioration utile, en s'appuyant sur les résultats d'expériences et de recherches jugées nécessaires.

Elle essayerait objectivement, et au point de vue purement scientifique, les nouveaux procédés proposés afin d'en estimer avec certitude la valeur ou la non-valeur. Enfin, elle devrait aussi étudier d'office les eaux vannes provenant d'établissements industriels nuisibles, sans attendre qu'une réclamation ait été adressée.

Il n'est pas douteux que chaque groupe industriel ou chaque établissement industriel ne désire voir se créer cette institution et ne soit prêt, en raison des conseils vraiment expérimentés qu'il pourrait en tirer, à s'imposer quelques dépenses dans le but de remédier aux préjudices qu'il occasionne. Nous sommes aussi convaincu que des firmes, qui actuellement déjà s'occupent d'exécuter et d'installer des appareils d'épura-

tion, etc., seraient prêtes à intervenir, dans leur propre intérêt d'ailleurs.

Une telle institution et ses fonctionnaires, travaillant honnêtement, ne manquerait pas de gagner la confiance des autorités. Cette confiance, les employés des fabriques, pas plus que les chimistes privés, ne l'ont généralement pas actuellement ; le fonctionnaire public a le droit de compter jouir d'une grande autorité. A ce point de vue, cette institution et son œuvre pourraient changer la situation. En effet, le manque de confiance des autorités est malheureusement pour le moment souvent aussi légitime que la haute autorité des fonctionnaires publics est parfois illégitime.

La question d'argent, qui pour l'État aurait, avant toute autre chose, une très grande importance, n'en aurait guère autant pour l'industrie qui est si puissante. Elle en aurait d'autant moins qu'une telle institution serait bientôt à même de vivre des propres revenus de son travail, comme nous l'avons vu pour maintes stations agricoles expérimentales, qui aujourd'hui sont installées dans des palais superbes, qu'elles ont acquis, en partie du moins, à l'aide des bénéfices réalisés. Il ne faudrait pas restreindre l'institution uniquement à son but principal. Elle pourrait — pour les membres de la société — entreprendre à bon compte d'autres recherches analytiques, telles que des analyses d'eau d'usage et d'eau de consommation des chaudières, des déterminations pyrométriques des combustibles et d'autres études encore, qui assureraient davantage encore sa propre existence.

La répartition entre les divers intéressés de cette imposition volontaire que se créerait l'industrie pourrait avoir pour bases la consommation de l'eau, le nombre des ouvriers et le nombre de chevaux-vapeur. Les fonds, considérables au début, qui seraient nécessaires pour y satisfaire se réuniraient aisément sans accabler trop lourdement l'industrie privée, qui pourtant en retirerait tout avantage.

Cet institut devrait être établi au siège d'une de nos écoles techniques d'enseignement supérieur; son directeur devrait le

considérer comme constituant un centre en connexion intime avec elle. Les questions relatives à l'épuration des eaux résiduaires ne pourraient que tirer profit de cette entente.

De cette façon, nous pourrions espérer mener à bonne fin la solution de ces problèmes, fût-ce même au prix d'un travail long et difficile.

Telle serait l'INTERVENTION PERSONNELLE de l'industrie qui n'existe pas actuellement! *Elle profitera, en toute première ligne, à l'industrie et en même temps à la pêcherie dans nos cours d'eau publics.*

Les idées que nous venons d'exprimer concernant la question de l'intervention personnelle de l'industrie par la fondation de stations expérimentales, idées que nous avons d'ailleurs défendues depuis des années dans des publications et des rapports adressés à des sociétés de pêcheries, forment la conclusion de l'ouvrage que nous avons publié en 1900 [1]. C'est cet ouvrage qui semble les avoir portées à la connaissance des sociétés industrielles. En septembre 1900, lors de l'assemblée générale de l'Association pour la défense des intérêts de l'industrie chimique en Allemagne, Julius Weber a, comme sujet de sa causerie au Conseil de commerce de Hambourg, pris mon livre ainsi que les idées qui s'y trouvent défendues et que nous venons d'exposer. A la suite de cette causerie, il fut chargé d'entrer en relations avec moi, pour étudier la fondation éventuelle d'une station expérimentale organisée dans le but que j'ai indiqué. Dans des réunions importantes, auxquelles prirent part des représentants d'autres grandes industries, on discuta le pour et le contre de cette fondation. Finalement, je demandai d'élaborer un mémoire qui exposerait en détail l'organisation de cette institution ainsi que les frais qu'occasionnerait son érection [2]. Bien que mon devis atteignît la somme de 250 000 francs, les intéressés qui assistaient à ces

[1] C. WEIGELT, *Vorschiften, etc.*, S. 263 und f.

[2] ID., *Die Begründung einer biologischen und Abwasser Versuchsstation der deutschen chemischen Industrie.* Berlin, 1901.

délibérations furent d'avis que la création d'un institut ayant pour but de s'occuper des besoins de la fédération des industries chimiques était non seulement exécutable, mais même désirable.

Maintes circonstances, et notamment la question des dépenses, dont on se préoccupa alors en raison de la situation peu prospère de l'industrie, firent laisser au Conseil de la Fédération le soin d'examiner la question de savoir s'il y avait lieu de proposer à l'assemblée générale de Berlin (septembre 1901) de fonder l'Institut conformément à mes plans.

Quoi qu'il en soit, ces discussions, ainsi que les relations nouvelles qui s'établirent entre la Fédération des industries chimiques et moi à propos de questions qui se posèrent relativement aux eaux résiduaires, eurent pour résultat d'affermir le désir de cette société de s'assurer mon concours et l'expérience que j'avais acquise au cours de près de vingt-cinq ans.

Sur la proposition du Conseil de la Fédération, l'assemblée générale me nomma « conseil scientifique » pour les questions relatives aux eaux résiduaires. Depuis le 1er octobre 1901, je remplis ces nouvelles fonctions. Il est vrai que jusqu'à nouvel ordre, je ne dispose pas d'un institut proprement dit; mais, aidé de mon assistant privé, je travaille avec le concours de chimistes chargés, pour chaque cas spécial, des travaux à effectuer.

Bien que ces travaux n'aient été poursuivis que pendant peu de temps encore et qu'ils n'aient porté que sur un petit nombre de questions, pourtant importantes et diverses, ils ont déjà produit des résultats étonnants, qui profiteront à l'industrie générale. Ils seront très prochainement publiés.

J'éprouve un grand plaisir à exprimer à cette occasion à la *Deutsche chemische Industrie* la reconnaissance que je lui dois pour la confiance qu'elle m'a témoignée. De part et d'autre, nous n'avons eu le moindre désir de cacher les inconvénients que présente l'état actuel des choses; ce désir n'aurait eu, d'ailleurs, que peu de succès. Par un travail scientifique des plus consciencieux, nous avons cherché à résoudre

les problèmes qui se posent actuellement et montré ouvertement aux autorités les préjudices causés aujourd'hui à nos cours d'eau. Ce sera, je l'espère, au profit de ces derniers.

Ce que l'industrie chimique a créé chez nous — et ce n'est pour le moment qu'à titre d'essai — attire aussi, je l'espère, l'attention d'autres associations industrielles.

Ce qui est possible en Allemagne peut aussi être réalisé dans d'autres pays. Toutes les nations, la Belgique comprise, ont, à l'exemple de l'Allemagne, créé des stations agricoles expérimentales. Pourquoi donc la voie dans laquelle est entrée l'Allemagne pour améliorer ses cours d'eau ne serait-elle pas aussi suivie par la Belgique?

Si, par le présent ouvrage, j'avais contribué, dans la limite de mes moyens, à l'amélioration future des cours d'eau belges, je serais spécialement heureux du résultat obtenu, et ce serait mon meilleur remerciement pour la distinction honorifique, très estimée, qu'a accordée à mon travail l'Académie royale des sciences de Belgique, en lui attribuant la médaille d'or de mille francs.

APPENDICE

Règles à suivre pour prélever des échantillons et étudier les eaux résiduaires ainsi que les eaux à poissons [1].

A. — Prise d'échantillons.

1. — Généralités.

Pour qu'une analyse d'eau puisse fournir des résultats sérieux et concluants, il faut avant tout que la prise d'échantillons ait été convenablement pratiquée.

On sait aujourd'hui combien étaient généralement effectuées imparfaitement, jusqu'à ce jour, les prises d'échantillons d'eau; combien elles étaient le plus souvent insuffisantes, ce qui en rendait difficile toute analyse et faisait, par conséquent, perdre tout le fruit qu'on en aurait pu retirer.

[1] Ces « règles », que j'avais préconisées dans des publications spéciales, ont été adoptées et proposées par une Commission scientifique de la *Deutscher Fischerei-Verein.*

Cette Commission, que j'avais l'honneur de présider, consacra plusieurs séances, de 1894 à 1899, à les examiner et les discuter.

Voici la liste des savants qui contribuèrent à les établir :

Feu le Prof[r] D[r] Jos. Frenzel, de Friedrichshagen-Berlin (zoologiste); Prof[r] D[r] Br. Hofer, de Munich (zoologiste); Prof[r] D[r] F. Hulwa, de Breslau (chimiste); Prof[r] D[r] O. Kirchner, de Hohenheim-Stuttgart (botaniste); feu le D[r] A. Knorr, de Munich (bactériologiste); Prof[r] D[r] W. Migula, de Karlsruhe (bactériologiste); Prof[r] D[r] H. Nistsche, de Tharandt-Dresde (zoologiste); Prof[r] D[r] B. Proskauer, de Berlin (chimiste); Prof[r] D[r] O. Saare, de Berlin (chimiste); D[r] B. Schorler, de Dresde (botaniste); D[r] A. Seligo, de Koenisberg (zoologiste); Prof[r] D[r] J.-H. Vogel, de Berlin (chimiste); Prof[r] D[r] C. Weigelt, de Berlin (chimiste).

Bien qu'il doive paraître absolument nécessaire que, quand une analyse d'eau est appelée à servir de base à une décision judiciaire ou administrative, la prise d'échantillons doive être effectuée par un *expert* et que l'étude de ces échantillons doive aussi être faite par des experts, en partie même *sur les lieux*, cependant des échantillons prélevés par d'autres personnes peuvent parfaitement servir *à une orientation préliminaire*, à condition qu'ils aient été pris convenablement [1].

Il est important que l'on sache de quelle façon, à quel moment, à l'aide de quels vases, en quelle quantité, à quels endroits du ruisseau, de la rivière, de l'étang, etc., l'eau a été prise et surtout si elle provient du milieu ou du bord du cours d'eau et, dans ce cas, à quelle distance du rivage.

La prise d'échantillons d'eau doit être effectuée *autant que possible par un expert*, ou du moins sous sa surveillance. *La quantité d'eau prélevée doit être suffisante; les vases qui servent à la recueillir doivent avoir été nettoyés avec le plus grand soin.* L'eau doit provenir d'endroits bien déterminés et, éventuellement, de *plusieurs endroits*; souvent aussi l'on doit en recueillir des échantillons à *plusieurs reprises* et à des intervalles déterminés sur un espace de quelques heures, ou bien, dans certaines circonstances, à des époques différentes pendant un très long espace de temps.

Un *échantillon unique*, pris en un endroit quelconque du cours d'eau, ne peut, généralement, fournir *aucune base sérieuse* permettant de se faire un jugement sur la nocuité de l'eau qu'il s'agit de déterminer par l'analyse.

Des analyses isolées ne donnent souvent que des résultats incomplets, dépendant de la température qui règne dans le moment, du niveau de l'eau, des conditions momentanées dans lesquelles se trouve l'établissement que l'on suppose être la source de la pollution du cours d'eau, etc.

Quand il s'agit d'analyses requises par la *justice* ou l'*admi-*

[1] Les passages guillemetés de notre texte sont extraits de : *Les règles à suivre par les profanes pour opérer des prises d'échantillons.*

nistration, on ne doit faire état que des échantillons convenablement prélevés.

Chaque fois qu'il s'agit, dans un procès surtout, de déterminer par l'analyse de l'eau les substances nuisibles qui existent dans un cours d'eau, on doit, pour prélever les échantillons d'eau, observer avec le plus grand soin et la plus grande précision les conseils que nous allons indiquer.

2. — Lieu et époque de la prise d'échantillons.

Pour les prises d'échantillons, il faut distinguer selon qu'il s'agit : *a*) d'eaux résiduaires ou *b*) d'eaux à poissons.

Les échantillons doivent être prélevés à l'endroit où l'on a constaté le préjudice causé aux poissons.

L'échantillon prélevé doit correspondre à une moyenne exacte de l'eau en question, qu'il s'agisse d'eaux résiduaires ou d'eaux à poissons.

a) *Eaux résiduaires.*

1. L'eau résiduaire s'écoule constamment et avec la même composition.

Dans ce cas, l'échantillon peut être prélevé à un moment quelconque de la journée ou de la nuit.

2. L'eau résiduaire s'écoule constamment, mais sa composition varie.

Dans ce cas, l'expert doit, selon les circonstances, prélever des échantillons à différents moments du jour ou de la nuit.

3. L'eau résiduaire ne s'écoule que pendant une partie du jour ou de la nuit, c'est-à-dire par intermittence.

Dans ce cas, l'échantillon doit être prélevé au moment où l'eau résiduaire est déversée.

4. Lorsqu'il s'agit en même temps de contrôler une installation d'épuration d'une eau résiduaire, ou de déterminer l'effet d'un procédé d'épuration, soit par clarification mécanique, soit par précipitation chimique, soit par irrigation, il faut

avoir soin, pour prélever l'échantillon moyen, de tenir compte, lorsque c'est possible, du temps que l'eau met pour traverser l'installation, parce que c'est de cette façon seulement que l'échantillon de l'eau épurée correspond bien à l'échantillon de l'eau qui coule dans l'installation.

b) *Eaux à poissons.*

1. Étangs et lacs.

Il faut tout d'abord constater si l'étang ou le lac reçoit des cours d'eau et s'il en part. Dans l'affirmative, il faut examiner quelles sont la nature et la composition de ces cours d'eau.

Les échantillons doivent être prélevés dans les affluents, dans les cours d'eau qui émanent de l'étang ou du lac, ainsi qu'en différents endroits et à différentes profondeurs de l'étang ou du lac. Le choix de ces endroits et de ces profondeurs doit être laissé à l'expert, qui se guidera pour cela d'après les circonstances locales.

Il faut aussi, selon les circonstances, s'occuper de la vase, dont on doit prélever un échantillon.

2. Cours d'eau, ruisseaux et fossés.

Lorsqu'on prélève un échantillon, il faut faire attention si le cours d'eau, le ruisseau ou le fossé reçoit des eaux vannes de quelque nature ou des affluents et des ruisseaux. On doit alors prendre des échantillons :

1. A l'embouchure de tout affluent que l'expert présume influencer la composition du cours d'eau.
2. En amont de l'embouchure de cet affluent, et cela aussi près que possible de cette embouchure, mais pas assez près pourtant pour que, par suite d'une éclusée, il puisse déjà s'y effectuer un mélange partiel avec l'eau résiduaire considérée.
3. En aval de l'embouchure de l'affluent, et cela assez loin en aval pour que l'expert puisse supposer que le mélange de l'eau de l'affluent avec l'eau du cours d'eau est complètement effectué.

Dans chaque cas, il convient de prélever des échantillons

au voisinage des deux rives et au milieu du cours d'eau, tant à la surface que plus profondément, si c'est possible, et en prenant toutes les précautions voulues [1].

3. — Façon d'opérer la prise d'échantillon.

« A. *Prise d'échantillon pour l'analyse chimique.* — Comme *vases* pour prises d'échantillons, il faut employer de préférence des flacons de verre avec bouchons de verre, nettoyés avec soin [2], ou bien des flacons à eau de Seltz ou soda, à fermeture brevetée et bien propres.

» La *quantité* d'eau à prendre doit être de 1 litre au moins et même, dans certains cas, de 2 à 4 litres par échantillon.

» Au moment de prélever l'échantillon, le flacon doit être rincé, trois fois au moins, avec l'eau dont on doit le remplir ensuite. L'eau de rinçage ne doit pas être rejetée dans l'eau à étudier à l'endroit où on la puise. Pour puiser cette eau, on plonge le flacon dans l'eau, en ayant soin de le tenir par le goulot; de même pour le boucher, on veille à ne tenir le bouchon que par son extrémité libre. Ces précautions sont destinées à éviter que la main ne vienne en contact avec l'eau de l'échantillon.

» Pour puiser l'eau et en remplir les flacons, on peut se servir d'un autre vase en verre bien propre, fixé à un cordon assez long, à une courroie de cuir, à un fil de fer ou à tout autre dispositif semblable.

» Pour prendre les échantillons dans la profondeur des cours d'eau, on se sert habituellement d'une bande de plomb ou de flacons lestés (de 2 litres), de façon à descendre facile-

[1] Voir aussi les traités de Ferd. Fischer, *Das Wasser*, II. Aufl.; Jos. König, *Die Verunreinigung der Gewässer*; W. Ohlmüller, *Die Untersuchung der Gewässer*, II. Aufl.

[2] On peut se les procurer dans toute pharmacie ou droguerie ainsi que chez les marchands d'appareils et d'ustensiles de chimie et de physique

ment à la profondeur voulue. Quand on les descend dans l'eau, ils sont fermés par un simple bouchon de liège, que l'on enlève quand ils sont arrivés à la profondeur voulue. Lorsqu'ils sont remplis d'eau provenant de cette profondeur, on les remonte à la surface.

» On ne dispose pas toujours de flacons de ce genre, bagage d'un transport incommode. Dans ce cas, voici un procédé que je recommande :

» Le flacon, bien rincé à l'aide de l'eau qu'il s'agit d'examiner, est placé au milieu d'une serviette ou d'un grand mouchoir de poche bien propre, dont les quatre angles sont noués. Ces quatre nœuds sont ensuite réunis au col du flacon et le tout est fixé solidement avec une ficelle dont la longueur est égale à la profondeur à laquelle on veut prendre l'échantillon (1 mètre par exemple). Dans cette espèce de sac ainsi formé, on place des pierres *lavées* ou des corps lourds quelconques, destinés à maintenir le flacon dans l'eau quand on l'y plonge. Avant de le laisser descendre, le flacon est fermé à l'aide d'un bouchon de liège pourvu d'une ficelle. Quand le flacon a atteint la profondeur voulue, on enlève facilement le bouchon, en tirant légèrement sur la ficelle qui s'y trouve fixée. Le fond du sac ne doit naturellement pas toucher le fond de l'eau, si l'eau n'est pas trop profonde.

» Il est en outre désirable que les différents échantillons qui doivent servir à une même série d'analyses soient prélevés en même temps.

» Chaque flacon doit être pourvu d'une étiquette à demeure, sur laquelle on indique la nature de l'eau, l'endroit où on l'a recueillie, la date et l'heure de la prise d'échantillon.

» Les flacons et les bouchons de verre doivent être bien liés avec du papier parchemin et fermés ensuite à l'aide d'un sceau officiel. »

Pour l'analyse quantitative, qui sera faite ultérieurement au laboratoire, il faut doser :

L'oxygène par la méthode de Winkler ou de Fried. C. G. Müller;

L'acide carbonique, à l'aide d'eau de chaux bien limpide ;

Le *sulfide hydrique,* à l'aide du chlorure de cadmium ou de la solution alcaline d'arsenite sodique ;

Le *chlore,* par la solution de nitrate d'argent;

L'anhydride sulfureux, par la méthode indiquée page 655 ;

L'ammoniaque, par la méthode indiquée page 648.

« Selon les circonstances, — surtout quand les impuretés sont des composés métalliques,— la *vase* ou l'enduit qui adhère aux pieux et aux plantes fournit des indications sur la cause et la source de l'impureté. »

Il est, en outre, désirable que l'expert chimiste, pour autant que ses connaissances le lui permettent, s'attache à faire sur place l'examen microscopique de l'eau ainsi que les manipulations préparatoires à son examen bactériologique. Les règles qu'il doit suivre pour cela seront indiquées plus loin.

Lorsqu'un expert se rend dans un établissement industriel pour examiner, soit les installations d'épuration des eaux résiduaires, soit la nature même de ces eaux au moment où elles sortent de la fabrique, il est nécessaire qu'il puisse exécuter sur place des déterminations, variables selon la nature des eaux. Or, dans les laboratoires des fabriques, on ne trouve pas toujours les appareils nécessaires à ces sortes d'analyses succinctes. C'est ce qui m'a déterminé à construire un petit laboratoire portatif [1]. Les instruments qu'il comporte sont réunis dans une petite caisse d'un transport facile.

Cette caisse s'ouvre latéralement et le couvercle peut être dressé de telle sorte qu'il constitue alors une petite table de 46 centimètres sur 37 centimètres. La caisse elle-même est en bois léger, mais solide. Pour se servir de ce petit laboratoire portatif, il suffit de disposer, dans un hangar ou une chambre quelconque de la fabrique, d'une caisse solide ou même d'un soubassement en briques.

La caisse comprend deux parties, dont l'une, inférieure, forme tiroir ; l'autre, supérieure, est divisée en quatre compar-

Comparer avec la caisse de *Proskamer,* fig. 107, p. 590.

timents verticaux, dont le troisième et le quatrième sont, à leur tour, divisés, par une cloison horizontale, en deux parties, que nous appellerons respectivement 3*a* et 3*b*, 4*a* et 4*b*, la partie supérieure étant désignée par la lettre *a* et l'inférieure par la lettre *b*. Dans le compartiment 1 on peut introduire une plaque trouée, pour recevoir les entonnoirs. Quant au tiroir, il est subdivisé en trois compartiments, que j'appellerai respectivement 5*a*, 5*b* et 5*c*. 5*c* est un compartiment antérieur, étroit, mais occupant toute la largeur du tiroir; 5*a* et 5*b* sont deux compartiments postérieurs et inégaux, 5*b* étant le plus grand des deux.

Je vais énumérer ce que contient chacun d'eux :

Compartiment 1.

2 entonnoirs en verre.
1 flacon en verre avec bouchon à l'émeri.
1 éprouvette graduée cylindrique.
1 lampe à alcool.
1 pipette avec caoutchouc, pour prélever des échantillons de liquides nauséabonds.
3 capsules en porcelaine.
1 support en bois avec deux flacons.

Compartiment 2.

1 grand cylindre en porcelaine pourvu d'une poignée, pour prélever des échantillons et déterminer la transparence.
1 pissette.
1 grand flacon muni d'un bouchon à l'émeri, pour l'eau distillée.

Compartiment 3*a*.

1 étagère avec dix tubes à réactions et deux supports pour entonnoirs. (Voir 5*b*.)

Compartiment 3*b*.

1 petite boîte (tiroir) avec sept étuis en verre contenant :

1. Ferrocyanure de potassium.
2 Ferricyanure de potassium.
3. Sulfite de sodium.
4. Permanganate de potassium.
5. Carbonate sodique.
6 et 7. Deux creusets en porcelaine.

Compartiment 4*a*.

1 support avec six flacons compte-gouttes contenant :

1. Acide sulfurique concentré.
2. Ammoniaque.
3. Empois d'amidon ioduré.
4. Méthylorange.
5. Phénolphtaléine.
6. Sulfocyanate ammonique.

2 petits flacons d'Erlenmeyer.

Compartiment 4*b*.

1 support avec huit flacons compte-gouttes contenant :

1. Acide sulfurique (H^2SO^4), 4gr9 par litre.
2. Lessive de soude.
3. Chlorure de baryum.
4. Nitrate d'argent, 17 grammes par litre.
5. Acide chlorhydrique concentré.
6. Ammoniaque.
7. Solution sulfurique de diphénylamine.
8. Réactif de Nessler.

Des disques en feutre.

Compartiment 5*a*.

1 bloc-notes.
Papier à lettres.
100 filtres (9 centimètres).
1 couteau.
1 paire de ciseaux.
1 pince en nickel.
1 spatule en platine.

Compartiment 5*b*.

Papier bleu de tournesol dans un étui en verre.
Papier rouge id.
Papier à l'acétate de plomb.
2 supports pour entonnoirs. (Voir 3*a*.)
1 étagère pour tubes à réactions.

Compartiment 5*c*.

1 appareil pour la détermination de la transparence de l'eau, d'après Weigelt.
1 mètre.
1 thermomètre.
1 brosse à tubes à réactions.

Je me suis naturellement efforcé de façonner les divers instruments et appareils, de telle sorte qu'ils soient propres au plus grand nombre d'usages possible. L'appareil destiné à mesurer le degré de transparence de l'eau consiste en une petite plaque en porcelaine, qui peut être pincée dans un support portant une échelle graduée en millimètres. On enfonce la plaque dans l'eau résiduaire soit directement, soit après l'avoir versée dans le vase de porcelaine : on détermine alors jusqu'à quelle profondeur est encore visible une petite croix marquée sur la plaque. Une eau résiduaire doit avoir une transparence correspondant à 80-100 millimètres.

La caisse que je viens de décrire est dans le commerce : on peut se la procurer à la firme Dr Robert Müncke, à Berlin. Elle est accompagnée d'une notice pour l'examen des eaux résiduaires en question, notice qui a été rédigée sous ma direction par mon assistant, M. le Dr Paul Schulz.

« B. *Prise d'échantillon pour l'examen biologique.* — Les recommandations que nous avons indiquées plus haut s'appliquent ici aussi. Nous devons cependant encore insister spécialement sur ce fait, que l'on ne peut employer les bouteilles à bière et à vin ayant servi.

» Chaque recherche exige deux échantillons au moins.

» a) *Il faut un échantillon d'eau avec les petits animaux et végétaux qui vivent dans cette eau.* — On remplit aux trois quarts, d'eau prise à la rive, un vase de verre d'une capacité de 1 litre environ, à large ouverture et pourvu d'une bonne fermeture en liège ou à vis (verre à confiture). Dans cette eau, on secoue, à diverses reprises, 10 à 20 exemplaires des végétaux qui vivent dans l'eau, afin de les dépouiller des petits organismes qui s'y trouvent fixés et de les réunir. On ajoute quelques plantes, que l'on place dans l'eau. On racle, en outre, les enduits de diverses couleurs que revêtent les pierres, les fragments de bois, les plantes, etc., qui se trouvent dans l'eau, ou bien on les dépose dans le vase avec les objets qu'ils recouvrent, si ces objets ne sont ni trop volumineux ni trop lourds. Les flocons,

écumes, etc., qui surnagent, ainsi que les animaux faciles à prendre, tels que gastéropodes, lamellibranches, larves d'insectes, etc., doivent en même temps être ajoutés à l'eau du vase. Si l'on n'est pas certain que cet échantillon puisse parvenir dans les vingt-quatre heures à la personne qui en fera l'examen, il est utile de conserver tout le contenu, en le versant aussitôt dans un récipient contenant $3/4$ de litre d'une solution de formaline à 1 °/o ou d'acide picrique, additionné de 2 °/o d'acide acétique [1].

» b) *Il faut, en outre, un échantillon du fond.* — On le recueille en enlevant de la vase ou du sable du fond vers la rive du cours d'eau. Puis on dépose cette vase ou ce sable dans un flacon de verre de $1/4$ à $1/2$ litre, que l'on remplit aux trois quarts d'eau.

» c) *Quand il s'agit de grands cours d'eau*, il est utile de prélever encore un *troisième échantillon*, à l'aide d'un filet de gaze à fines mailles (filet à plankton). On le traîne lentement et à plusieurs reprises (cinq à dix fois) dans l'eau, pour recueillir les animaux. Le contenu du filet est alors lavé dans un vase à large ouverture.

» C. *Prise d'échantillon pour l'examen bactériologique.* — Lorsque l'on doit faire l'examen bactériologique de l'eau, il faut prélever un échantillon spécial, en opérant de la manière suivante :

» Des flacons bien bouchés, d'une capacité de 100 centimètres cubes environ, sont lavés, ainsi que leurs bouchons, avec une solution de sublimé à 1 °/oo. Ils sont ensuite bouchés et fermés à l'aide d'une coiffe en caoutchouc. On ne les ouvre qu'à l'endroit même où l'on opère la prise d'échantillon d'eau. A ce moment, flacon et bouchon sont, plusieurs fois de suite, soigneusement rincés avec de l'eau de l'endroit même où l'on prélèvera

[1] On peut se procurer de la formaline dans toute pharmacie. Pour s'en servir, on mêle 3 parties de formol du commerce à 100 parties d'eau distillée. L'acide picro-acétique peut aussi s'obtenir dans les pharmacies.

l'échantillon. Puis, le flacon, complètement rempli de cette eau, est bouché et refermé à l'aide de la coiffe en caoutchouc. Il faut avoir soin, quand on remplit le flacon, de ne pas introduire le doigt dans le goulot, ni de toucher avec les doigts la partie du bouchon qui doit entrer dans le flacon. Il faut, en effet, éviter d'introduire dans l'eau des bactéries qui n'y existent pas. On peut préparer ces flacons dans toute pharmacie. »

Les ballons de verre de Flügge (fig. 105) conviennent particulièrement bien pour prendre ces échantillons ainsi que pour les expédier. Ils ont environ 1 $^{1}/_{2}$ centimètre de diamètre et sont pourvus d'un col, long de 10 à 15 centimètres et très effilé à son extrémité. Pour s'en servir, on commence par aspirer de l'eau distillée jusqu'à mi-hauteur du ballon, en chauffant légèrement le ballon au préalable. Puis on place l'appareil sur un tissu métallique, le col étant obliquement dirigé vers le haut. On chauffe; l'eau entre en ébullition, se vaporise, et les gouttes d'eau qui s'échappent sont enlevées par du papier à filtrer. Quand il ne reste plus qu'une légère trace d'eau dans le ballon, le col est soudé en *a*. L'intérieur du ballon est alors stérilisé et contient de l'air raréfié. Avant d'opérer la prise d'échantillon, la surface de l'appareil est nettoyée avec soin, comme nous l'avons dit plus haut. On plonge alors l'appareil dans l'eau dont il s'agit de prélever un échantillon ; on en brise le col vers le milieu de sa longueur. L'eau entre dans l'espace contenant l'air raréfié et remplit le ballon. On soude de nouveau son col en *b* et, ainsi préparé, il peut être expédié. Quand on veut étudier l'échantillon, on ouvre l'appareil, à l'aide d'une lime, en *c*, où le col doit être assez large pour permettre l'introduction d'une pipette.



Fig. 105.
Ballon de Flügge.

Quand il s'agit de prendre des échantillons dans la profon-

deur, on se sert d'un ballon préparé de la même façon, mais dont le col de verre décrit plusieurs sinuosités (fig. 106). Le ballon est placé dans un réservoir lesté d'un poids (*c*) et descendu dans l'eau. Quand il a atteint la profondeur voulue, on brise le col de verre au moyen d'un fil (*a*) fixé à l'une des sinuosités du col; le vase est ainsi ouvert. Les manipulations suivantes sont les mêmes que pour l'appareil précédemment décrit.



FIG. 106.

Il est préférable que l'on exécute sur place, immédiatement après avoir pris l'échantillon, les préparations qu'il faut effectuer avec l'eau recueillie pour en faire l'examen bactériologique, préparations que nous décrirons plus loin. C'est dans ce but que B. Proskauer a construit une caisse, d'un transport facile, qui contient tout le nécessaire [1] (fig. 107).

Mais, si ces préparations ne peuvent se faire aussitôt, alors il faut que les échantillons soient maintenus froids (à une température inférieure à 5° Celsius) jusqu'au moment d'être étudiés. Sans cela, on se tromperait sur le nombre total des bactéries ainsi que sur le nombre relatif des diverses espèces qui se trouvent dans l'eau. Il faut donc expédier les échantillons dans de la glace.

« D. *Emballage et expédition des échantillons.* — Les échantillons sont déposés séparément dans les compartiments d'une

[1] On peut se procurer cette caisse chez LAUTENSCHLAGER, à Berlin, N., Oraniënburgerstr., 54. Elle contient 4 ballons stérilisés d'ERLENMEYER pour prendre les échantillons, 1 thermomètre, 1 lampe à alcool, 12 cuvettes doubles, 12 doubles plaques de PETRI, stérilisées et contenues dans 2 boîtes cylindriques en tôle, 12 tubes à réaction avec gélatine, 15 pipettes stérilisées contenues dans 3 tubes, 1 trépied pliable, 1 serviette, etc.

caisse ou d'un réservoir *ad hoc*, que l'on ferme aussitôt, à son tour, en présence de témoins, à l'aide d'un sceau officiel. Ce sceau est apposé de telle sorte qu'il ne puisse se rompre pendant le transport.

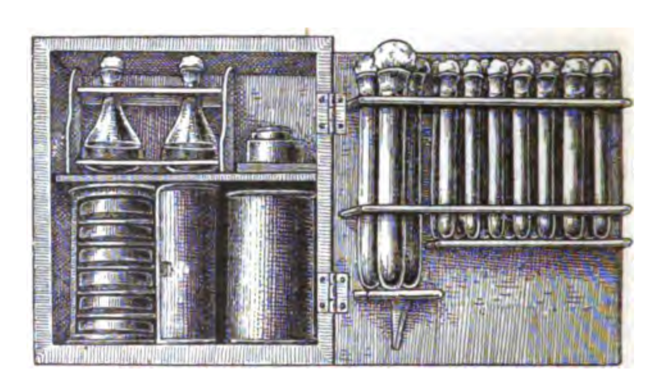


Fig. 107.

» Des caisses ou réservoirs appropriés pour recevoir les échantillons devraient être tenus en réserve au moins dans chaque siège d'inspection de l'industrie. Le nettoyage des flacons peut éventuellement être effectué par tout pharmacien.

» Immédiatement après que l'on a opéré la prise d'échantillons, ces derniers ou la caisse qui les contient doivent être expédiés à l'expert chargé de les étudier. Cette expédition doit se faire par le mode de transport le plus rapide. Dans le cas où l'expéditeur ne connaît pas cet expert, il prend son adresse au commissariat du district ou canton ou à l'Inspection officielle de l'industrie; dans les villes, il s'adresse pour cela à la police. L'expert doit, en outre, être informé de l'envoi qui lui est fait, par une lettre qui lui renseigne minutieusement toutes les observations dignes de foi que l'on a recueillies sur le cas en question et qui lui indique toutes les circonstances dans lesquelles a été effectuée la prise d'échantillon. les noms de celui qui l'a opérée et des témoins de l'opération, le jour et l'heure où l'on a constaté le préjudice causé aux

poissons et le moment où a été pris l'échantillon ; il doit aussi recevoir une empreinte du sceau que l'on a employé pour fermer les flacons et la caisse qui les contient. »

E. *Autres observations à faire sur place.* — Si l'on veut pouvoir estimer exactement, dans la suite, la valeur du préjudice porté à un cours d'eau, en ce qui concerne le nombre de ses poissons ou, en d'autres termes, l'intensité d'une contamination, il est très désirable de déterminer quelles quantités d'eau charrie ou contient le ruisseau, la rivière, l'étang ou le lac, au moment où l'on effectue la prise d'échantillon d'eau. On doit, en outre, pour ce qui regarde les lacs et les étangs, calculer quelles quantités d'eau ils reçoivent et quelles quantités s'en écoulent. Enfin, il faut déterminer quel rapport existe entre la quantité d'eau amenée par les affluents et celle que charrie, dans le moment, le cours d'eau récepteur, c'est-à-dire le facteur de la dilution.

Pour déterminer ce rapport, il convient, en toutes circonstances, de s'adresser à un hydro-technicien ayant l'habitude de procéder à des évaluations de ce genre.

« Il faut, en outre, chercher si la destruction du poisson ne peut pas avoir pour cause des phénomènes naturels, par exemple des maladies du poisson, telles que celles qu'occasionne l'absence d'aération de l'eau, lors des gelées, quand la glace n'offre pas de crevasses. »

Enfin, il est indispensable que l'expert — s'il n'est déjà familiarisé avec les procédés de fabrication usités par l'établissement industriel incriminé — se mette aussi complètement que possible au courant de ces procédés, attendu qu'il peut en retirer maints renseignements importants pour lui permettre de poursuivre ses recherches et d'en interpréter les résultats.

B. — Étude des échantillons.

1. — Examen chimique.

Nous donnons ici, dans la mesure du possible, les principales méthodes de recherche qualitative et d'analyse quantitative dont l'expert chimiste peut avoir à se servir.

L'examen chimique devra porter sur la constitution de l'eau et *exclusivement* sur les éléments qui pourraient compromettre la santé des poissons. L'expert doit pouvoir en juger après avoir recherché et examiné avec soin les conditions dans lesquelles se trouve l'eau endommagée, c'est-à-dire après avoir fait un examen préalable sur les lieux mêmes. Il faut éviter de se livrer à des recherches superflues, qui n'auraient aucune importance pour le but qu'on poursuit, car ce serait tout au moins occasionner des frais inutiles.

Les échantillons prélevés doivent être analysés séparément, mais, dans certaines circonstances et suivant les cas, il faut les mélanger avant de les analyser, car on sait que très souvent des eaux diverses réagissent les unes sur les autres en se transformant.

L'étude de l'eau comprend donc :

1° Un examen préalable sur les lieux ;

2° Une analyse approfondie au laboratoire.

a) *Examen préalable sur les lieux.* — Dans cet examen, il faut observer :

1. *L'aspect de l'eau.* — Il convient de constater si elle est claire et limpide ou si elle est colorée et trouble. Dans ce cas, quelle est la nature de la coloration et l'intensité du trouble?

Une eau est considérée comme claire lorsqu'à travers une couche de 30 centimètres d'épaisseur on peut lire distinctement un imprimé ordinaire.

Pour cette constatation, on se sert de tubes cylindriques, à

fond plat, ayant un diamètre de $2^{cm}5$ et une hauteur de 35 centimètres environ ; ils portent un trait à 30 centimètres du fond.

On peut de même apprécier ainsi de faibles colorations. En ajoutant quelques gouttes d'acide chlorhydrique dilué, etc., on arrive souvent à se faire une idée de la nature des matières en suspension qui troublent les eaux résiduaires.

2. *L'odeur.* — Odeur d'hydrogène sulfuré, d'anhydride sulfureux, de chlore libre, d'acide butyrique ou d'ammoniaque, etc., ou bien toute autre odeur caractéristique de telle ou telle eau industrielle (par exemple odeur de betterave).

3. *La réaction.* — Neutre, acide ou alcaline. On la cherche à l'aide de papier de tournesol neutre ou par addition d'une solution neutre de tournesol à un échantillon spécial de l'eau.

4. *La température* doit être prise, suivant les circonstances, à différentes places et à diverses profondeurs, au moyen d'un thermomètre à maxima et minima.

5. *Les gaz et les acides libres.* — La détermination de ces éléments doit se faire plus soigneusement qu'on en a l'habitude. Elle se fait sur place, lorsque l'expert est muni des appareils nécessaires, ou bien les gaz et les acides volatils sont mis en combinaison de telle façon que leurs rapports pondéraux n'éprouvent pas de changements pendant le transport.

Il est recommandable de rechercher *sur place :*

Qualitativement :

l'hydrogène sulfuré, au moyen de papier au sel de plomb ;
l'acide carbonique, avec de l'eau de chaux;
le chlore libre, avec du papier ioduré amidonné;
l'ammoniaque et les sels ammoniacaux, par le réactif de Nessler;
l'acide nitreux, au moyen de métaphénylendiamine;
l'acide nitrique, par la diphénylamine et l'acide sulfurique.

Quantitativement :

le chlore libre, par l'acide arsénieux, le thiosulfate, l'iodure de potassium et l'iode;
l'oxygène et l'azote avec l'appareil Tenax.

Les eaux qui se corrompent facilement doivent être traitées par le chloroforme en vue de certaines déterminations; ou bien, il convient d'additionner d'acide sulfurique étendu des échantillons spéciaux pour éviter une perte d'ammoniaque.

b) *L'analyse chimique au laboratoire.* — Lors de l'analyse chimique approfondie au laboratoire, il faut avant tout tenir compte des points suivants :

L'analyse doit être commencée aussitôt que possible après la prise d'échantillon, et, lorsque plusieurs échantillons se rapportent à la même question, les déterminations analogues doivent se faire autant que possible en même temps. De cette façon, les eaux ne s'altèrent pas, ou bien, si elles ont subi une modification, on peut admettre qu'elle est à peu près la même dans les divers échantillons.

Mais si, pour des raisons spéciales, il est indispensable de conserver les échantillons d'eau, il faut les garder dans une glacière, c'est-à-dire à basse température, ou bien les traiter par le chloroforme ou l'acide sulfurique.

Il est bon de répéter ou de contrôler l'examen préalable dont il a été question plus haut et, éventuellement, de noter les changements survenus (formation d'hydrogène sulfuré, d'acide nitreux ou d'acide nitrique, etc.).

Pour ce qui regarde l'odeur, elle n'est souvent sensible que lorsqu'on chauffe l'eau vers 40° à 50° C., ou bien lorsqu'on la verse dans un gobelet très large.

Il importe parfois aussi de noter la couleur de l'eau filtrée et d'observer les changements qu'elle subit, de constater, par exemple, la présence de sels ferreux (trouble et dépôt de flocons jaunes après exposition prolongée à l'air). Il faut examiner, en outre, si l'eau se filtre claire, s'il se dépose des matières en suspension et au bout de combien de temps.

L'analyse ultérieure aura pour objet de rechercher, selon la nature des eaux résiduaires ou des eaux à poissons :

1. Les matières en suspension.

2. Le résidu total et le résidu à la calcination, la perte à la calcination.

3. Les matières organiques : *a*) méthode au permanganate; *b*) oxydation par l'acide chromique.
4. L'alcalinité et l'acidité.
5. Les acides libres.
6. L'acide sulfureux et ses sels.
7. Le chlore : *a*) libre ou acide hypochloreux (hypochlorites); *b*) combiné (chlorures).
8. L'hydrogène sulfuré et les sulfures.
9. Les autres matières minérales, composés métalliques vénéneux, y compris les combinaisons de l'alumine et du fer.
10. L'ammoniaque.
11. L'azote total, à l'exclusion de l'azote des nitrites et nitrates. L'ammoniaque albuminoïde, les matières organiques azotées, non volatiles.
12. L'acide nitreux.
13. L'acide nitrique.
14. L'acide carbonique : *a*) total; *b*) libre; *c*) combiné et fixe; *d*) libre et demi-combiné.
15. L'oxygène et l'azote.
16. Le sucre, l'amidon.
17. Les matières albuminoïdes non décomposées.
18. L'urée.
19. Les matières fécales et les produits de la putréfaction.
20. La stabilité des eaux résiduaires et la fermentation.

Parmi les observations et les recherches qui viennent d'être citées, il faut *en toutes circonstances* effectuer les suivantes :

1. Aspect extérieur (couleur, clarté, odeur, voir p. 647).
2. Réaction (acide, alcaline).
3. Résidu total et résidu à la calcination; perte à la calcination.
3. Matières organiques (permanganate).
5. Gaz vénéneux (chlore, acide sulfureux, acide sulfhydrique, ammoniaque).
6. Sels de métaux vénéneux (sels des métaux lourds, y compris les sels de fer et d'alumine, sulfures solubles).

Cela est surtout nécessaire pour les échantillons qui ont été envoyés au chimiste sans lui avoir fait part des causes auxquelles on suppose due la contamination de l'eau ou des conditions réalisées dans l'endroit où les échantillons ont été prélevés.

Lorsque le chimiste ou son mandataire prend des échantillons d'eau, il ne peut pas se dispenser de faire une détermination quantitative d'*oxygène et d'acide carbonique*, indépendamment des observations et des recherches mentionnées plus haut.

Lorsqu'il s'agit d'eaux résiduaires et d'eaux provenant d'établissements qui déversent des substances organiques putrescibles, *il faut absolument* tenir compte, surtout dans l'intérêt de l'hygiène, des composés azotés mentionnés plus haut (10 à 13 et 17 à 20).

Enfin, il importe que le rapport de l'expert tienne compte de toutes les indications sur lesquelles nous avons insisté, qu'il mentionne tous les résultats qu'il a obtenus, ainsi que les méthodes qu'il a employées.

1. — Détermination des matières en suspension tant inorganiques qu'organiques.

Les matières en suspension qui donnent à l'eau son aspect trouble sont souvent considérées comme plus nuisibles qu'elles ne le sont en réalité. Cependant, dans certains cas, elles peuvent être nuisibles. C'est ainsi que, par exemple, les fibres ligneuses, la vase charbonneuse et la boue minérale que tiennent en suspension maintes eaux résiduaires peuvent occasionner la mort d'une foule de poissons.

Il faut toujours déterminer exactement la quantité et la nature des matières en suspension. Pour cela, on filtre une quantité déterminée de l'eau à travers un papier filtre sec; on pèse le résidu resté sur le filtre et on l'examine au point de vue chimique et au point de vue microscopique.

Souvent il est bon, pour doser les matières en suspension, de faire la différence entre les résidus totaux de l'eau non filtrée et de l'eau filtrée, surtout lorsque l'eau, étant sale, se filtre difficilement, comme cela arrive fréquemment. Dans ce cas, il peut déjà s'opérer un changement dans l'eau pendant le filtrage, ce qui fausse le résultat. Il faut alors suivre le procédé suivant : Une partie de l'eau vivement agitée est filtrée à travers un filtre sec à plis, ou éventuellement aspirée à travers un filtre durci ; on évapore au bain-marie 250 centimètres cubes de l'eau non filtrée et autant de l'eau filtrée ; on dessèche le résidu pendant quatre à cinq heures à 120° C ; on le pèse et on calcule par différence la proportion de matières en suspension. (Voir plus loin : résidu à la calcination.)

Si l'on a affaire à une eau résiduaire épurée contenant de la chaux libre, on y fait passer d'abord de l'acide carbonique en excès et l'on opère comme d'habitude. On retranche du résidu total la quantité d'acide carbonique correspondant à la chaux libre.

2. — Résidu total, résidu a la calcination, perte a la calcination.

250 à 500 centimètres cubes de l'eau sont mis à évaporer dans une capsule de platine au bain-marie, puis séchés à 120° C (si on chauffe à des températures plus élevées, il faut en prendre note) jusqu'à poids constant, ce qui exige quatre à cinq heures ; enfin, on pèse le résidu après l'avoir laissé refroidir sous la cloche de l'exsiccateur.

Le résidu obtenu est chauffé au rouge sombre jusqu'à ce que le produit de la combustion soit devenu blanc. Après refroidissement, on l'humecte avec de l'eau distillée saturée d'acide carbonique, on sèche au bain-marie, on chauffe ensuite sur une toute petite flamme, on laisse refroidir et l'on pèse.

La différence entre les deux pesées, combinée avec le passage au brun ou au noir, plus ou moins marqué pendant la première

incinération, permet jusqu'à un certain point de conclure à la présence de matières organiques [1].

3. — Matières organiques.

a) *Oxydation : Emploi de caméléon.* — Les matières oxydables par le permanganate de potasse doivent être dosées dans l'eau non filtrée comme dans l'eau filtrée, parce que cette détermination peut nous renseigner également sur la nature des matières en suspension.

Des eaux qui exigeraient, par exemple, au delà de 20 centimètres cubes de caméléon doivent être diluées proportionnellement. D'après Kubel-Tiemann, le dosage doit se faire en solution acide après ébullition pendant dix minutes. De l'eau récemment distillée sur permanganate doit servir d'échantillon comparatif.

Suivant la proportion de matière organique, on étend à 1 litre 25 centimètres cubes ou 100 centimètres cubes de l'eau résiduaire filtrée, et on prélève de cette solution 25 centimètres cubes ou 50 centimètres cubes, de façon qu'elle reste encore rougie lorsqu'on la fait bouillir en solution acide avec 20 centimètres cubes d'une solution de caméléon au $^1/_{100}$. D'après la quantité de caméléon employée, on calcule le poids de caméléon ou d'oxygène nécessaire à l'oxydation; outre la matière organique, d'autres matières, telles que composés sulfurés, oxyde ferreux, nitrites, etc., absorbent de l'oxygène. 10 centimètres cubes de caméléon $^1/_{100}$ normal (correspondant à 16 centimètres cubes d'acide oxalique $^1/_{100}$ normal) $= 3^{mgr}16$ $KMnO_4$ ou $0^{mgr}8$ d'oxygène.

b) *Oxydation du carbone organique par l'acide chromique.* — Cette détermination s'applique principalement, d'après P. Degener, aux substances carbonées *non volatiles* lors de l'évapo-

[1] L'odeur des gaz et des vapeurs qui se dégagent pendant la calcination fournit souvent un indice sur la nature des substances constituant le résidu.

ration de l'eau; elle ne fournit donc pas le résultat en carbone total, car une partie des matières organiques se volatilise pendant cette évaporation.

Suivant la teneur de l'eau en matières organiques, on concentre 100 à 1000 centimètres cubes de l'eau filtrée jusqu'à 20 ou 30 centimètres cubes, par évaporation, après avoir combiné avec de l'acide carbonique la chaux libre qui peut s'y trouver. On transvase le résidu dans un ballon, on ajoute un peu d'acide sulfurique dilué et l'on chauffe avec précaution en agitant. Ensuite on aspire plusieurs fois l'air du ballon de façon à chasser complètement l'acide carbonique; on laisse refroidir le tout et l'on ajoute environ 10 grammes de bichromate de potasse ou 5 grammes d'acide chromique en poudre.

On ferme le ballon de la même manière que dans l'analyse d'une terre, avec un bouchon foré de deux trous, dont l'un livre passage à un entonnoir allant jusqu'au fond du ballon et dont l'autre porte un tube de dégagement relié immédiatement avec deux tubes en U à chlorure de calcium, auxquels fait suite un appareil à potasse. Après avoir assuré l'étanchéité de l'appareil, on verse par l'entonnoir un mélange de 30 centimètres cubes d'eau; on ferme le robinet de l'entonnoir et l'on chauffe pendant deux à trois heures à 40-50° C, c'est-à-dire jusqu'à ce que le dégagement de toutes petites bulles ait cessé et que la surface de la solution verte ou jaune verdâtre apparaisse bien unie. Après cela, on chauffe vingt minutes environ à 90-95° C., on fait bouillir à la fin quelques instants, et l'on fait passer à travers la solution, pendant quinze minutes, de l'air privé d'acide carbonique. L'augmentation de poids de l'appareil à potasse fournit le poids de l'acide carbonique formé aux dépens des matières organiques, et ce poids multiplié par 0,2777 donne le carbone combiné organique.

4. — Alcalinité et acidité.

Pour déterminer l'alcalinité due à de la chaux libre, à de l'ammoniaque libre, etc., on titre 200 centimètres cubes avec

de l'acide sulfurique $^1/_{100}$ normal en employant comme indicateur une solution sensible de tournesol, d'acide rosolique ou de rouge Congo (éventuellement on fera l'essai à la tache), et on calcule la chaux, l'ammoniaque, etc., en milligrammes par litre.

100 à 200 centimètres cubes d'eau sont titrés avec une solution de soude $^1/_{10}$ normale, jusqu'à ce qu'on constate que la réaction acide a disparu, au moyen des témoins ci-dessus ou en humectant du papier de tournesol convenable.

5. — Acides libres.

Les acides libres ne peuvent être dosés par une solution alcaline titrée en présence de tournesol, que lorsque l'eau contient des alcalis et des terres alcalines. Mais si elle renferme des oxydes métalliques, tels qu'oxydes de fer, de zinc, de cuivre, on ne peut déterminer les acides libres qu'en dosant la totalité des acides et des bases, en les calculant comme sels et en exprimant le reste en acide « libre ». On considère comme non combiné l'acide qui paraît être en excès d'après la nature de l'eau.

6. — Acide sulfureux et ses sels.

a) *Acide sulfureux libre.* — D'après les constatations de l'essai qualitatif, on distille une quantité convenable d'eau (par exemple 250 centimètres cubes) dans un ballon muni d'un réfrigérant dont le tube plonge dans une solution d'iode fraîchement préparée ou dans l'eau de brome. La distillation est poussée jusqu'à ce que le volume du liquide ait diminué de moitié et que l'iode présente la couleur du vin de Madère; s'il le faut, on ajoute de la solution d'iode à la portion décolorée. Après addition d'acide chlorhydrique, on fait bouillir jusqu'à décoloration et l'acide sulfurique formé est précipité par le chlorure de baryum.

b) *Acide sulfureux combiné.* — On le dose de la même façon dans le résidu après avoir acidulé par l'acide phosphorique.

Il faut faire attention à ce fait que dans un liquide contenant à la fois de l'acide sulfureux libre, des bisulfites et des sulfites neutres, on n'obtient pas une séparation complète, car pendant la distillation directe une partie de l'acide sulfureux combiné peut être entraînée.

Si les échantillons d'eau résiduaire doivent supporter un transport assez long, il est préférable, en guise de contre-épreuve, de préparer le dosage de l'acide sulfureux sur les lieux. Pour cela l'on prend, par exemple, 100 centimètres cubes de l'eau : *a*) on acidule avec de l'acide chlorhydrique, on évapore jusqu'à réduction au demi-volume, et on le met dans un flacon à essai; *b*) on ajoute une solution d'iode ou d'eau de brome et l'on porte le tout également dans un tube à essai. La différence entre les résultats trouvés pour l'acide sulfurique permet de calculer la totalité de l'acide sulfureux.

7*a*. — Chlore libre et acide hypochloreux (hypochlorites).

Le dosage se fait au moyen d'iodure de potassium, d'acide chlorhydrique, d'une solution normale de thiosulfate et d'empois d'amidon fraîchement préparé; dans certains cas, on se sert aussi d'une solution arsénieuse (acide arsénieux dissous dans du bicarbonate de soude) et de papier ioduré amidonné.

Suivant la teneur, on prend 100 à 500 centimètres cubes de l'eau à essayer, on y ajoute 1 gramme d'iodure potassique très pur et de l'acide chlorhydrique en quantité suffisante, et l'on titre l'iode mis en liberté au moyen d'une solution $^1/_{10}$ normale de thiosulfate (24gr8 dans 1 litre d'eau), en laissant couler celle-ci jusqu'à faible coloration jaune; on ajoute alors de l'empois d'amidon froid et fraîchement préparé (1 gramme dans 100 centimètres cubes d'eau) et l'on continue à titrer, jusqu'à décoloration complète. 1 centimètre cube de solution de thiosulfate normale = 0gr00354 de chlore.

Cette méthode n'est pas tout à fait exacte, mais elle donne des résultats suffisants pour des eaux résiduaires.

Dans certains cas, on peut remplacer la solution de thiosulfate par une solution arsénieuse $^1/_{10}$ normale (4gr95 d'acide arsénieux pur dans 200 centimètres cubes d'eau avec 10 grammes de carbonate sodique et étendre à 1 litre); la fin de la réaction se constate alors en plaçant une goutte de la liqueur sur du papier ioduré amidonné (préparé en imbibant le papier d'une solution filtrée de 1 gramme d'amidon dans 100 centimètres cubes d'eau bouillante additionnée de 0gr1 d'iodure potassique). Ici encore 1 centimètre cube de la solution arsénieuse = 0gr00354 chlore = 0gr0127 iode.

7 *b*. — Chlore combiné (chlorures).

Dans des eaux neutres claires et limpides ne renfermant que peu de matières organiques, on peut opérer directement le titrage sur 100 centimètres cubes de l'eau exactement neutralisée, en se servant d'une solution $^1/_{10}$ normale de nitrate argentique, et de chromate de potassium comme indicateur; ou bien, d'après Volhard, pour s'épargner la peine d'une neutralisation, on peut titrer en solution nitrique au moyen de sulfocyanate d'ammonium.

Les eaux très riches en chlorures doivent être diluées de telle façon que 100 centimètres cubes n'exigent pas plus de 10 centimètres cubes environ de la solution argentique.

Si les eaux sont troubles et riches en matières organiques ou en composés sulfurés, on fait bouillir 100 centimètres cubes de l'eau filtrée (une quantité moindre pour des eaux riches en chlorures), on y ajoute un ou plusieurs cristaux de permanganate de potassium et on fait bouillir jusqu'à ce que la liqueur soit devenue tout à fait claire et limpide et que le peroxyde de manganèse, etc., se soit déposé en flocons. Si on a ajouté un peu trop de permanganate potassique de façon que le liquide reste rouge, on ajoute quelques gouttes d'alcool jusqu'à ce que la décoloration s'accomplisse, puis on filtre, on

lave, et dans le filtrat limpide on titre comme d'habitude au moyen d'une solution argentique $^1/_{10}$ normale ou d'après la méthode de Volhard.

8. — Hydrogène sulfuré et sulfures.

Un dosage exact de l'hydrogène sulfuré est presque impossible dans les eaux résiduaires, pour la plupart riches en matières organiques, parce que les eaux putrescibles contiennent notamment ou du moins peuvent contenir une série de substances qui réagissent en décolorant la solution d'iode. On peut en faire une détermination approximative en ajoutant un peu d'empois d'amidon à 200 centimètres cubes d'eau et en titrant jusqu'à ce qu'il se produise une coloration bleue.

Cette façon d'opérer indique à peu près la quantité d'iode nécessaire.

On place la solution d'iode dans un ballon, on ajoute rapidement 200 centimètres cubes de l'eau, on agite, puis on introduit l'empois d'amidon et on laisse encore couler de l'iode en quantité suffisante pour déterminer la coloration bleue.

Lorsque le titrage des eaux par l'iode n'est pas praticable à cause de la forte coloration de celles-ci, on peut faire réagir une solution ammoniacale de nitrate d'argent, filtrer le précipité de sulfate d'argent, le dissoudre dans l'acide nitrique, le précipiter une seconde fois à l'état de chlorure et peser ce dernier précipité : 1 gramme AgCl = 0,118 hydrogène sulfuré.

Mais ce procédé n'est pas exact non plus, parce que la matière organique que renferment ces eaux réduit facilement la solution argentique. Dans d'autres cas, il faut ajouter de l'arsénite de sodium et de l'acide chlorhydrique et doser le sulfure d'arsenic par un procédé connu ; ou bien il faut ajouter de l'acétate de cuivre et de l'acide acétique, ou du sulfate de cadmium et une certaine quantité de lessive de soude, puis transformer les sulfures métalliques en sulfates, soit en

les fondant avec du carbonate sodique et du salpêtre, soit en les traitant par l'acide nitrique fumant. On dose finalement l'acide sulfurique comme d'habitude.

Dans certaines circonstances (pour une faible teneur), on peut aussi doser l'hydrogène sulfuré colorimétriquement. Pour cela, on ajoute à 100 centimètres cubes d'eau 1 centimètre cube d'une solution de nitroprussiate de sodium (4 grammes de ce sel dans 1 litre d'eau) et on compare la coloration violette produite avec une échelle de teintes que l'on a établie en diluant à 100 centimètres cubes 2 centimètres cubes de lessive de soude (1 : 2), 1 centimètre cube de la solution de nitroprussiate sodique et x centimètres cubes d'une eau contenant une quantité bien connue d'hydrogène sulfuré.

On peut encore doser colorimétriquement l'hydrogène sulfuré par une solution d'un sel de plomb : on dilue l'eau résiduaire en proportion convenable, jusqu'à ce qu'une solution alcaline de sel plombique produise une coloration brunâtre. On compare celle-ci avec la coloration de sulfure de plomb produite dans une solution d'hydrogène sulfuré dans l'eau distillée, dont on a déterminé la teneur au moyen d'iode [1]. Dans ces déterminations on fait entrer les sulfures solubles, ceux-ci étant aussi funestes aux poissons que l'hydrogène sulfuré libre.

Le meilleur moyen de doser séparément l'acide sulfhydrique libre dans un liquide, consiste à faire passer dans celui-ci de l'air privé d'acide carbonique par son passage à travers une solution de soude. L'acide sulfhydrique entraîné par l'air est mis en combinaison sous forme de sulfure de plomb et dosé comme d'habitude. Dans le reste on fait passer les sulfures solubles à l'état de sulfure de zinc, au moyen d'une solution d'acétate zincique et d'acide acétique, ou bien on les oxyde en tenant compte des sulfates dosés au préalable; puis on dose l'acide sulfurique sous forme de sulfate barytique et on en déduit le soufre ou l'hydrogène sulfuré par le calcul.

[1] D'après Heyer, *Ursache und Beseitigung des Bleiangriffes durch Leitungswasser*. Dessau, 1886.

Préparation de la solution d'iode — On pèse rapidement 6gr35 d'iode purifié et on les dissout dans 200 centimètres cubes d'eau avec 12gr5 d'iodure potassique exempt d'acide iodhydrique ; on introduit cette solution dans un ballon d'un $^1/_2$ litre fermé par un bouchon en verre, ou remplit jusqu'au trait et on agite. 100 centimètres cubes de cette solution $^1/_{10}$ normale sont étendus à 1 litre (dans un ballon de 1 litre avec bouchon en verre), et c'est cette solution ($^1/_{100}$ normale) qui servira à titrer l'hydrogène sulfuré dans l'eau. 1 centimètre cube de cette solution d'iode = 0gr00127 iode = 0gr00017 hydrogène sulfuré.

Pour vérifier le titre de la solution d'iode, on peut dissoudre 2gr48 d'hyposulfite sodique purissime dans 1 litre d'eau et titrer cette liqueur, après addition d'empois d'amidon, par la solution d'iode. 20 centimètres cubes de la solution d'hyposulfite — si le titre est exact et si l'hyposulfite est bien pur — doivent être bleuis immédiatement par 20 centimètres cubes de la solution d'iode. (Pour la détermination exacte de la teneur en iode, voir Fresenius : *Quantitave analyse*, 6e éd., p. 489.)

Empois d'amidon. — Une partie d'amidon pur ou d'amidon soluble (d'après Lintner) est remuée petit à petit avec 100 parties d'eau froide et portée à l'ébullition en remuant continuellement. On laisse ensuite refroidir et on décante le liquide du dépôt qui a pu se former. L'empois d'amidon et la solution d'hyposulfite doivent être préparés nouvellement avant chaque essai.

9. — Autres matières minérales, composés métalliques vénéneux, y compris les combinaisons de l'alumine et du fer.

La chaux, la magnésie, la potasse, la soude, l'acide sulfurique sont dosés comme d'habitude dans le résidu de l'évaporation après calcination de celui-ci.

Pour le dosage de l'acide phosphorique, on évapore à sec une plus grande quantité d'eau (0,5 à 2 litres suivant la

teneur) dans une capsule en platine, on calcine, on fond avec du carbonate sodique et du salpêtre, on dissout dans l'acide chlorhydrique, on précipite par le molybdate d'ammoniaque et on opère comme d'habitude.

De faibles quantités d'alumine sont sans intérêt pour nos recherches ; il en est de même pour de moins faibles quantités de fer, surtout à l'état de composés ferreux. Ceux-ci apparaissent nettement par le repos, grâce au trouble qui se produit et qu'on peut faire disparaître aisément par l'acide chlorhydrique.

S'il s'agit de rechercher chimiquement les sels ferreux dissous, on les oxyde en ajoutant à 100 ou 200 centimètres cubes de l'eau à analyser 5 gouttes d'eau de chlore (chlorate de potasse et acide chlorhydrique concentré), et on fait réagir une solution de sulfocyanate de potassium, après avoir éliminé le chlore libre.

Pour doser quantitativement l'oxyde ferreux, on prélève 200 à 400 centimètres cubes de l'eau à analyser, suivant qu'elle renferme plus ou moins de fer. Un essai préalable a permis de s'en faire une idée (transformation de l'oxyde ferreux en chlorure ferrique). On fait évaporer cette eau avec 1-2 centimètres cubes d'acide nitrique ou avec quelques cristaux de chlorate potassique et de l'acide chlorhydrique. On évapore jusqu'à ce que tout l'acide nitrique ou les produits de sa réduction ainsi que le chlore libre soient chassés. On reprend provisoirement le résidu par 25 centimètres cubes d'eau acidulée par 5 centimètres d'acide chlorhydrique (1 : 3).

Pour bien apprécier les degrés de la coloration rouge produite par la réaction du sulfocyanate potassique sur des solutions ferriques, il convient que 100 centimètres cubes de celles-ci ne contiennent pas moins de $0^{mgr}05$ et pas plus de $0^{mgr}2$ d'oxyde ferreux (quantités correspondantes à 1-4 centimètres cubes de la solution ferrique titrée). Il faudra donc étendre la solution du résidu de façon que la teneur en fer reste dans ces limites. On verse alors 100 centimètres cubes de la solution dans un tube de 30 centimètres de haut et $2^{cm}5$ de

large, comme ceux qui servent généralement à faire des dosages colorimétriques; on ajoute 5 centimètres cubes d'une solution de sulfocyanate potassique à 10 °/₀ et 1 centimètre cube d'acide chlorhydrique dilué (1 : 3); on mélange convenablement le tout avec une baguette de verre. On compare la coloration rouge qui se produit, suivant les règles des procédés colorimétriques, avec les colorations obtenues dans des solutions de teneur en fer connue. La solution titrimétrique est une solution de chlorure ferrique dont $1^{cc} = 0^{mgr}05$ d'oxyde ferreux [1].

Lorsqu'on a affaire à une eau contenant du fer et de l'alumine en plus grande quantité, on fait évaporer avec de l'acide nitrique un volume plus considérable de cette eau (au moins 500 centimètres cubes), on incinère (ne pas calciner) et on reprend par l'acide chlorhydrique dilué.

Dans la solution chlorhydrique, on précipite le fer et l'alumine par l'ammoniaque, le précipité lavé est redissous dans l'acide chlorhydrique; le fer est ensuite précipité par l'acétate sodique à l'état d'acétate basique de fer et pesé sous forme d'oxyde ferrique, suivant le procédé connu. Dans le liquide filtré, on précipite l'alumine par l'ammoniaque, on filtre et on pèse.

Pour rechercher des éléments moins communs, par exemple le zinc, le cuivre, etc., il faut également opérer sur des quantités assez fortes, évaporer en solution acide, etc.; les dosages se font comme d'habitude.

10. — Ammoniaque.

Suivant la teneur, on opère sur 250 à 500 ou 1000 centimètres cubes de l'eau filtrée, que l'on introduit dans une large cornue ou dans un ballon de Kjeldahl avec de la magnésie calcinée; on distille suffisamment longtemps; les vapeurs sont

[1] B. Proskauer, *Zeitschrift für Hygiene*, Bd IX, S. 148.

condensées dans un réfrigérant et le liquide condensé est reçu dans un récipient contenant de l'acide sulfurique titré; celui-ci est ensuite titré en retour. Les matières organiques azotées que contiennent ces eaux étant facilement décomposables, on peut obtenir des résultats trop forts pour l'ammoniaque

Dans des eaux claires et limpides et pour de petites quantités d'ammoniaque, on peut doser celle-ci colorimétriquement réactif de Nessler , en se servant d'une solution normale de chlorure d'ammonium fraîchement préparée.

11. — Azote total, a l'exclusion de l'azote des nitrites et nitrates. Ammoniaque albuminoïde. Matières organiques azotées non volatiles.

a) On prend 200 centimètres cubes de l'eau convenablement agitée et non filtrée, d'autre part, 200 centimètres cubes de l'eau filtrée sur filtre sec (pour de faibles teneurs, 500 centimètres cubes, pour de fortes teneurs, 100 centimètres cubes). On chasse l'acide nitrique en y ajoutant un peu de bisulfite de sodium, du chlorure de fer et quelques gouttes d'acide sulfurique, évaporant à sec dans une capsule de Hoffmeister, en présence d'un peu de gypse. On broie le résidu avec la capsule, on l'introduit sans perte dans un ballon et on le brûle suivant le procédé de Kjeldahl.

La différence entre l'azote de l'eau non filtrée et l'azote de l'eau filtrée donne la quantité d'azote contenue dans les matières en suspension.

Il faut surtout veiller à ce que les réactifs dont on se sert, tels que l'acide sulfurique, la soude, etc., soient exempts de composés azotés, d'acide nitrique, par exemple.

b) Dans un ballon de Kjeldahl de 1 litre, en verre d'Iéna, on fait évaporer 250-500 centimètres cubes d'eau avec du sulfate ou du chlorure ferreux et 25 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré, jusqu'à ce que le volume du liquide ne dépasse plus 50 centimètres cubes. De cette façon on décompose les nitrates, et l'azote existant sous cette forme est éliminé.

On ajoute alors quelques cristaux de sulfate cuivrique (2-3 grammes) et autant de bisulfate de potassium et on chauffe jusqu'à destruction des matières organiques (procédé Kjeldahl); on étend ensuite la solution avec 200-250 centimètres cubes d'eau distillée et, après refroidissement, on ajoute de la lessive de soude concentrée jusqu'à réaction alcaline, tout en maintenant le ballon froid; l'ammoniaque formée est entraînée par distillation avec un courant de vapeur d'eau jusque dans une quantité mesurée d'acide sulfurique normal ou $^1/_{10}$ normal et puis titrée en retour. Il est bon, d'après König, d'employer pour la distillation un tube de dégagement à boule muni d'une chicane, pour éviter les projections de soude. On obtient par ce procédé l'azote total. Il suffit d'en retrancher l'azote ammoniacal pour avoir l'azote organique.

c) On peut aussi pratiquer ce dosage par la méthode de Wanklyn, Chapman et Smith. Elle consiste à faire bouillir 1 à 2 litres d'eau, suivant la teneur en azote, d'abord pendant un temps assez long avec quelques centimètres cubes d'une solution de carbonate sodique. Cette opération se fait dans une grande cornue munie d'un réfrigérant ascendant, comme pour le dosage de l'ammoniaque. On chasse ainsi toute l'ammoniaque déjà existante et on la reçoit dans un récipient. Après refroidissement, on ajoute 100 centimètres cubes d'une solution contenant 200 grammes de potasse caustique et 8 grammes de permanganate de potassium par litre, et on fait encore une fois bouillir pendant plusieurs heures. L'ammoniaque qui se dégage alors est reçue dans un nouveau récipient relié au réfrigérant et dosée comme d'habitude. Voir plus loin n° 17, p. 627.

12. — Acide nitreux.

Dans la plupart des cas, un essai qualitatif suffit. Il consiste, pour des eaux claires et limpides, à faire réagir la métaphénylendiamine ou l'iodure de zinc amidonné. Au lieu de faire cette dernière réaction, on peut aussi ajouter un peu d'empois d'amidon, un cristal d'iodure potassique et quelques gouttes d'acide sulfurique dilué.

Pour des eaux colorées et riches en matières organiques, un essai qualitatif direct n'est guère applicable. Il faut alors distiller 100 à 300 centimètres cubes de l'eau dans un courant d'acide carbonique en présence d'acide sulfurique, essayer le liquide distillé, et éventuellement opérer dans celui-ci le dosage colorimétrique, au moyen de *m*-phénylendiamine ou du réactif de P. Griess (coloration rouge par l'acide sulfanilique et l'α-naphtylamine).

Pour faire un essai quantitatif, on emploie une solution de permanganate au $^1/_{100}$ ($0^{gr}316$ par litre); en même temps on fait une solution au $^2/_{100}$ de sulfate ferroso-ammonique ($1^{gr}96 \times 2 = 3^{gr}92$ par litre). On fait d'abord réagir un excès de la première, on décolore par un nombre égal de centimètres cubes de la seconde et on laisse de nouveau couler le permanganate jusqu'à coloration rose. Les centimètres cubes de caméléon employés la deuxième fois indiquent la quantité d'acide nitreux; 1 centimètre cube de cette solution = $0^{mgr}19$ d'acide nitreux.

Pour les eaux résiduaires, on obtient toujours des chiffres très élevés par cette méthode.

13. — Acide nitrique.

On évapore 1 litre d'eau à laquelle on a ajouté de l'hydrate potassique et finalement un peu de permanganate de potassium; l'évaporation est continuée jusqu'à réduction du volume d'eau à 50 centimètres cubes. On détermine alors la teneur en acide nitrique par la méthode d'Ulsch, réduction à l'état d'ammoniaque par l'hydrogène naissant en présence d'acide sulfureux. On dose l'ammoniaque comme d'habitude.

La méthode volumétrique de dosage sous forme d'oxyde azotique par le chlorure ferreux[1] est préférable et plus exacte. Nous ne ferons cependant que l'indiquer ici.

[1] Schulze-Tiemann, *Bericht d. chem. Gesellschaft*, VI, 1041.

14a. — DOSAGE DE L'ACIDE CARBONIQUE TOTAL.

C'est-à-dire libre, à demi-combiné, et combiné aux bases.

Pour doser l'acide carbonique total, on ajoute à l'eau à analyser de l'eau de chaux filtrée; après un repos d'au moins vingt-quatre heures en flacon fermé, on mélange les précipités formés; par l'acide chlorhydrique on dégage l'acide carbonique de ceux-ci et on l'absorbe dans un appareil à potasse de Liebig ou de Geisler qu'on pèse.

Si une eau contient des carbonates alcalins, on y ajoute un peu de chlorure calcique.

Quand on a affaire à des eaux claires, on peut filtrer le précipité de carbonate calcique, le laver rapidement avec de l'eau bouillante, le dissoudre dans l'acide acétique, traiter la solution acétique par l'oxalate ammonique. En multipliant par 0,785 la chaux pesée (CaO), on obtient l'acide carbonique. Il vaut cependant mieux opérer de la façon suivante : dans un ballon d'un $^1/_2$ litre on traite 250 centimètres cubes de l'eau à analyser par 250 centimètres cubes d'eau de chaux saturée et filtrée, à laquelle on a ajouté un peu de chlorure calcique. Pour préparer l'eau de chaux saturée, on éteint, à la température du bain-marie, de la chaux pure calcinée et on étend le lait de chaux avec de l'eau, de façon qu'il reste de l'hydrate calcique non dissous. Cette eau de chaux est filtrée à travers un filtre à plis directement dans le ballon de 500 centimètres cubes jusqu'au trait. Après l'avoir agité plusieurs fois, on le laisse au repos jusqu'à ce que le précipité soit grenu ; puis on filtre rapidement sur un filtre plissé, on rejette le tout, sans laver, dans le ballon; on relie celui-ci à l'appareil servant à doser l'acide carbonique et préparé d'avance. En ajoutant de l'acide chlorhydrique, on met l'acide carbonique en liberté et ce dernier est absorbé dans un appareil à potasse de Liebig, que l'on pèse.

14*b*. — Dosage de l'acide carbonique libre.

Il consiste, suivant Trillich, à ajouter 100 centimètres cubes de l'eau à analyser, additionnée de phénolphtaléine, une solution de carbonate sodique (2gr41 de carbonate déshydraté ou 6gr502 de carbonate hydraté dans 1 litre), jusqu'à ce qu'on perçoive une coloration violette. Chaque centimètre cube de carbonate employé exprime 1 milligramme d'acide carbonique.

14*c*. — Dosage titrimétrique de l'acide carbonique combiné (d'après Lunge).

Si on ajoute de l'acide sulfurique et une solution aqueuse jaune de méthylorange à un carbonate ou à un bicarbonate, il se forme du sulfate et de l'acide carbonique libre, et la coloration jaune pâle persiste jusqu'à ce que les carbonates soient complètement décomposés et qu'il reste une trace d'acide sulfurique libre; alors la coloration rouge apparaît. La présence d'autres sels n'a pas d'importance. Cette méthode sert à doser uniquement l'acide carbonique combiné. Une molécule de bicarbonate exige la même quantité d'acide sulfurique qu'une molécule de carbonate neutre :

$$CaCO_3 + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2O + CO_2$$
$$Ca(HCO_3)_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + 2H_2O + 2CO_2.$$

On prépare une solution d'acide sulfurique qui neutralise exactement la même quantité de potasse caustique qu'une solution d'acide oxalique, dont 1 centimètre cube équivaut à 1 milligramme d'acide carbonique (2gr863 d'acide oxalique) par litre.

On fait réagir cet acide sulfurique sur 200 centimètres cubes d'eau (colorée en jaune pâle par le méthylorange) jusqu'à ce qu'il se produise une coloration rouge. Supposons qu'on ait employé 9 centimètres cubes; l'eau contient donc $5 \times 9 = 45$ milligrammes d'acide carbonique combiné par litre.

14d. — Dosage de l'acide carbonique libre et de l'acide carbonique demi-combiné réunis.

Pettenkoffer a formulé les réactions suivantes. Si on fait réagir sur une eau à analyser un volume connu d'une solution d'hydrate de baryum (eau de baryte), l'acide carbonique libre et l'acide carbonique des bicarbonates sont précipités à l'état de $BaCO_3 + CaCO_3$:

$$CO_2 + Ba(OH)_2 = BaCO_3 + H_2O; \quad 1Ba(OH)_2 = 1CO_2 \text{ libre};$$

$$Ca<\begin{matrix}CO_3H\\CO_3H\end{matrix} + Ba(OH)_2 = CaCO_3 + BaCO_3 + 2H_2O; \quad 1Ba(OH)_2 = 1CO_2 \text{ demi-combiné.}$$

Chaque molécule de $Ba(OH)_2$ qui se précipite sous forme de $BaCO_3$ insoluble, correspond à une molécule de CO_2 libre ou demi-combiné. Ce résultat se déduit de la différence d'alcalinité de l'eau de baryte avant et après son addition à l'eau à analyser.

Voici quels sont les sels alcalins qui contiennent des acides capables de précipiter $Ba(OH)_2$: les carbonates, les sulfates, les phosphates, qu'on peut transformer par $BaCl_2$ en chlorures alcalins indifférents et en sels barytiques insolubles.

Si l'eau renferme du bicarbonate magnésique, la réaction suivante a lieu :

D'abord

$$Mg<\begin{matrix}CO_3H\\CO_3H\end{matrix} + Ba(OH)_2 = BaCO_3 + MgCO_3 + 2H_2O;$$

ensuite

$$MgCO_3 + Ba(OH)_2 = BaCO_3 + Mg(OH)_2.$$

L'hydrate magnésique se précipite. On voit d'après cela qu'une molécule de bicarbonate magnésique, soit une molécule de CO_2 faiblement combiné, ne précipite pas seulement une molécule de $Ba(OH)_2$, mais que tant qu'il y a une molécule de MgO en présence, une seconde molécule d'hydrate barytique est précipitée. Une molécule de MgO équivaut donc à 1 molécule de CO_2 libre ou demi-combiné, c'est-à-dire que chaque

fois que nous avons 40 milligrammes de MgO, nous trouvons 44 milligrammes CO_2 ou pour 1 milligramme MgO 1mgr1 de CO_2 de trop. On a cherché à éviter la réaction exprimée par les réactions précédentes en ajoutant du chlorure ammonique.

Trillich, qui a étudié de près la méthode dans ces derniers temps, trouva qu'on ne peut pas empêcher complètement la précipitation du magnésium ; il n'ajoute pas du tout de chlorure d'ammonium et il tient compte, pour les calculs, de l'influence du magnésium exposée dans les réactions ci-dessus. Dans sa méthode il dit ceci (*Zeitschr. f. angew. Chem.*, 1889, p. 337) :

1. La teneur de l'eau en magnésium est déterminée par la méthode gravimétrique.

2. On traite 100 centimètres cubes d'eau par 5 centimètres cubes de solution de chlorure barytique 1 : 10 et 45 centimètres cubes d'eau de baryte titrée (15-20 grammes d'hydrate de baryum × 0gr2 de chlorure barytique dans 1 litre). On agite convenablement dans un vase à précipiter qu'on peut fermer, et on laisse reposer douze heures.

3. On préfère deux fois 50 centimètres cubes de la solution limpide (150 centimètres cubes) au moyen d'une pipette, sans remuer le précipité et on titre en présence de phénolphtaléine par une solution d'acide chlorhydrique dont 1 centimètre cube = 1 milligramme d'acide carbonique, c'est-à-dire sature autant d'alcali qu'une solution renfermant 2gr863 d'acide oxalique par litre. On peut aussi se servir d'acide oxalique ou d'acide sulfurique.

Supposons, par exemple, que 100 centimètres cubes d'eau contiennent 5mgr8 de magnésie (MgO); d'autre part, que 45 centimètres cubes d'eau de baryte = 108 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et qu'on ait employé 27cc4 d'acide chlorhydrique pour neutraliser 50 centimètres cubes de la solution claire ; alors 150 centimètres cubes auraient exigé 82cc2 et la quantité d'acide carbonique serait correspondante à la différence 108—82mgr2; mais comme les 5mgr8 de magnésie échangeraient 5mgr8 × 1mgr1 d'acide carbonique, 100 centimètres cubes

contiennent $108-82^{mgr}2-6^{mgr}4=19^{mgr}4$, soit pour 1000 centimètres cubes 194 milligrammes d'acide carbonique libre et demi-combiné.

D'après Trillich, on peut employer également cette méthode pour le *dosage de l'acide carbonique total.*

Pour cela on ajoute aux 50 centimètres cubes restants du liquide contenu dans le vase à précipiter (avec le précipité) quelques gouttes de méthylorange ou de teinture de cochenille; on titre avec l'acide chlorhydrique dont nous venons de parler, jusqu'à ce que le méthylorange rougisse ou que la teinture de cochenille passe du rose au jaune. Supposons qu'on ait employé 34 centimètres cubes d'acide chlorhydrique; alors la quantité d'acide carbonique par 100 centimètres cubes sera exprimée en milligrammes par : $34 - 1.0 - 1.1 \times 2 = 30\ 8$; par litre dix fois plus; il faut retrancher 1.0 parce qu'au-dessus du précipité il y a encore 50 centimètres cubes de liquide; et 1.1×2 parce que le précipité est composé en partie d'hydrate magnésique.

Soit G la totalité de l'acide carbonique (CO_2), x la somme de l'acide carbonique libre et demi-combiné; alors $G - x = B$ est l'acide combiné. Mais comme le combiné et le demi-combiné sont en mêmes proportions, $G - 2B = F$ exprime la quantité de CO_2 libre. Dans les eaux qui ne renferment pas de CO_2 libre, $2B = G$, de sorte que dans beaucoup de cas la détermination peu commode de G peut être évitée par le simple titrage de l'acide carbonique combiné, d'après Lunge.

Exemple : Dans l'eau de la distribution, les différentes méthodes de dosage de l'acide carbonique donnent par litre :

Acide carbonique total, d'après Trillich 350 milligrammes; CO_2 libre et demi-combiné, d'après Pettenkofer et Trillich 194; combiné, d'après Lunge 155; ensemble 349, de sorte qu'en supposant que la quantité de CO_2 combiné soit égale à celle de CO_2 demi-combiné, on trouve $194 - 155 = 39$ milligrammes de CO_2 libre. Malgré cela, l'eau montre une réaction fortement alcaline, grâce à sa teneur élevée en bicarbonates [1].

[1] Dr K.-B. Lehmann, *Die Methoden der praktischen Hygiene.*

15. — Dosage de l'oxygène dissous dans l'eau.

a) *Le procédé de Winkler.* — L'hydrate manganeux, réagissant avec l'oxygène en présence d'alcali, passe à l'état d'hydrate manganique ; celui-ci, transformé en chlorure manganique par l'acide chlorhydrique, se scinde aussitôt en chlorure manganeux et en chlore. Ce dernier met l'iode en liberté, et l'iode est titré par une solution de thiosulfate.

On opère dans des bouteilles épaisses, avec bouchons en verre, fermant bien, de 250 centimètres cubes de capacité environ, dont on détermine la contenance exacte.

On remplit complètement une bouteille de l'eau à analyser en la faisant couler au moyen d'un siphon. On introduit immédiatement après, au moyen d'une pipette effilée de 1 centimètre cube qu'on plonge dans l'eau jusqu'au fond de la bouteille, d'abord $0^{cc}5$ d'hydrate sodique contenant de l'iodure potassique, ensuite $0^{cc}5$ de la solution de chlorure manganeux, et on ferme aussitôt le flacon en prenant soin qu'il n'y reste pas de bulles d'air. On tiendra compte dans les calculs, de l'eau qui s'échappe à l'extérieur. On retourne le flacon plusieurs fois pour faire le mélange et on laisse se déposer le précipité floconneux. Lorsqu'il est complètement rassemblé, on ouvre avec précaution, sans remuer le précipité, et on introduit, à l'aide d'une pipette effilée, 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique fumant, au fond de la bouteille; on la ferme de nouveau et on mélange son contenu. Le liquide clair qui s'écoule à l'extérieur n'entre pas en ligne de compte. Le précipité se dissout rapidement. La liqueur est alors transvasée dans un gobelet avec l'eau de lavage de la bouteille et on la titre par le thiosulfate de sodium, après addition d'empois d'amidon. D'après le nombre de centimètres cubes de thiosulfate employés, on calcule la quantité d'oxygène.

Supposons, par exemple, que le flacon dont on se sert contienne 256 centimètres cubes, soit 255 centimètres cubes après addition de $0^{cc}5$ d'hydrate sodique et $0^{cc}5$ de chlorure

manganeux, et qu'on ait employé pour le titrage 31cc4 de la solution $^1/_{100}$ normale de thiosulfate; la quantité d'oxygène sera $0,055825 \times 31,4 = 1,7529$, soit par litre

$$\frac{1,7529 \times 1000}{255} = 6^{cc},87.$$

En présence de nitrites, il faut quelque peu modifier ce procédé de dosage de l'oxygène, parce que par l'action de l'acide nitreux sur l'acide iodhydrique, il se forme, à côté de l'iode, de l'oxyde azotique, qui présente l'inconvénient de fixer l'oxygène de l'air sur l'acide iodhydrique. On lève cette difficulté en transformant par oxydation l'acide nitreux en acide nitrique. Pour cela, on n'ajoute l'iodure potassique qu'après avoir acidulé l'eau par l'acide chlorhydrique.

L'acide nitreux est ainsi oxydé en même temps qu'une partie des matières organiques contenues dans l'eau, par le chlore naissant du scindement du chlorure manganique. Pour déterminer la quantité d'oxygène qui a été perdue de la sorte, une correction est nécessaire. Pour cela on fait réagir, sur un volume mesuré de l'eau à essayer, un excès de solution de chlorure manganique et en recherchant la quantité de chlore actif qui a disparu.

Donc, si dans une eau contenant des nitrites on veut doser l'oxygène, on détruit l'acide nitreux par KI + HCl, on ajoute une solution d'hydrate sodique ne contenant pas d'iodure potassique et on opère comme il a été dit plus haut, mais en employant une quantité double d'acide chlorhydrique. La solution de chlorure manganique nécessaire à la correction ne doit être préparée qu'au moment de l'essai, de la façon suivante : on dissout dans un $^1/_2$ litre d'eau distillée 1 centimètre cube de solution pure d'hydrate sodique exempte d'iodure potassique, ensuite 5 à 10 gouttes de solution de chlorure manganeux. Après mélange, on ajoute de l'acide chlorhydrique jusqu'à ce que le précipité se dissolve.

Il est recommandable d'ajouter à la solution déjà acide quelques grammes de chlorure manganeux cristallisé ; la

dissolution du précipité exige alors moins d'acide chlorhydrique.

On mesure deux fois 100 centimètres cubes de cette solution de chlorure manganique. On dilue les 100 premiers centimètres cubes avec 100 centimètres cubes d'eau distillée, aux autres on ajoute 100 centimètres cubes de l'eau à analyser.

Après avoir mélangé, on attend deux à trois minutes; puis on ajoute de l'iodure potassique aux deux liqueurs et on titre l'iode mis en liberté avec la solution de thiosulfate qui sert au dosage de l'oxygène. De la différence de quantités de thiosulfate employées de part et d'autre, on tire la valeur de la correction pour 100 centimètres cubes d'eau.

On calcule la valeur de la correction relativement à la quantité d'eau soumise au titrage de l'oxygène et on l'ajoute à la quantité de thiosulfate employée pour ce titrage.

Réactifs de la méthode de Winkler.

1. Solution de chlorure manganeux par dissolution de 80 grammes de chlorure manganeux ($MnCl_2 + 4H_2O$) dans la quantité d'eau distillée nécessaire pour obtenir 100 centimètres cubes de solution.

2. Solution de soude contenant de l'iodure potassique. On prépare une solution d'hydrate sodique 12 fois normale exempte de nitrite et on dissout 15 grammes d'iodure potassique dans 100 centimètres cubes de cette solution.

3. Une solution $^1/_{100}$ normale de thiosulfate (2gr48 de thiosulfate sodique dans 1 litre d'eau). Cette solution ne doit pas être exactement $^1/_{100}$ normale, mais on doit déterminer sa valeur en iode; pour cela on dissout deux ou trois fois une quantité déterminée d'iode dans l'iodure potassique (0gr05 — 0gr1 d'iode) et on titre.

Lorsque la solution de thiosulfate est exactement $^1/_{100}$ normale, 1 centimètre cube équivaut à 0gr00127 iode = 0gr00008 d'oxygène (à 0° C et 760 millimètres de pression).

4. Empois d'amidon : 1 gramme délayé dans 100 centimètres cubes d'eau.

b) *Procédé à l'appareil Tenax du Profr-Dr Fréd. C. G. Müller, de Brandebourg-sur-H.* [1]. — Pour prélever et transporter commodément les échantillons, on se sert d'un *puiseur* ayant l'apparence d'une canne et d'une *petite boîte à échantillons* munie d'une poignée en cuir et pesant 3 $^1/_2$ kilogrammes. Ses dimensions extérieures sont : 7 × 15 × 26 centimètres. Elle renferme six petits ballons de 100 centimètres cubes gradués, suspendus à des pinces, et dont le col dépoli est muni d'un bouchon de caoutchouc percé d'un trou par lequel passe un morceau de baguette de verre. Elle renferme en outre de petits entonnoirs, des anneaux de caoutchouc, un petit thermomètre, deux compte-gouttes avec de la phénolphtaléine et une solution de soude au $^1/_{22}$.

Quand il s'agit d'échantillons où l'on veut doser l'oxygène et l'azote au laboratoire par expulsion et mesurage direct, les petits ballons 1-5 reçoivent, avant la prise d'échantillon, 4 gouttes de solution de soude au $^1/_{22}$. Le sixième ballon sert au dosage, immédiat et sur place, de l'acide carbonique par tritrimétrie.

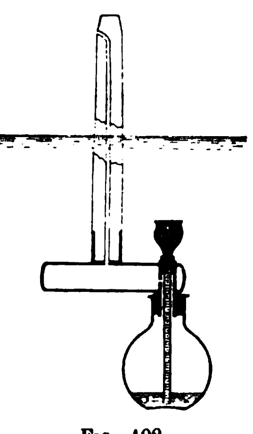


Fig. 108.

Pour *prendre l'échantillon* on fixe, comme le montre la figure 108, le ballon sur le tube au crochet de la baguette, au moyen d'un anneau de caoutchouc ; d'autre part, on fait passer la douille de l'entonnoir jusqu'au fond du ballon, à travers ce tube et contre celui-ci, en la maintenant à l'aide d'un tube de

[1] Des recherches très récentes ont démontré que les résultats fournis par le procédé à l'appareil Tenax doivent être admis avec grande prudence, quand il s'agit de cours d'eau sales en fermentation putride, car dans ces eaux existent aussi d'autres gaz, qui sont alors tenus pour de l'oxygène. L'appareil ne peut donc pas servir pour l'étude d'eaux résiduaires ou d'eaux résiduaires qui ne sont pas suffisamment diluees.

caoutchouc bien serrant. Si maintenant on plonge le tout dans l'eau, en saisissant la partie inférieure de la canne, le ballon se remplit en une minute d'eau claire filtrée, tandis que l'air s'échappe à travers le coude et la baguette creuse. De cette façon on évite presque totalement les pertes de gaz par diffusion. De plus, on peut prendre l'échantillon à une profondeur de 1 mètre au-dessous de la surface. A chaque nouveau puisage, on vide d'abord complètement le premier ballon pour chasser les restes d'eau et d'air de l'entonnoir. Dès qu'on a rempli le ballon, on y détermine la température. Les ballons 1-5 destinés au dosage de l'oxygène et de l'azote sont remplis jusqu'à débordement, puis on introduit le bouchon en caoutchouc percé d'un trou, sans emprisonner de l'air, on ferme le trou avec la baguette de verre et on place le tout dans la boîte. Les tampons d'ouate enlevés de l'entonnoir peuvent être conservés dans des cornets de papier huilé et soumis à un examen microscopique ultérieur.

L'acide carbonique libre se dose titrimétriquement au moyen de soude au $^1/_{22}$ et de phénolphtaléine comme indicateur, suivant l'équation $Co_2 + NaOH = CO_3NaH$.

On remplit le ballon jusqu'au trait, on ajoute 2 gouttes d'indicateur, et puis, goutte à goutte, la soude en agitant jusqu'à ce que le liquide examiné contre un écran blanc montre une faible coloration rose, persistant encore après trois minutes. 3 gouttes ($0^{cc}1$) représentent $0^{cc}1$ d'acide carbonique.

Des essais soigneusement faits sur de grands volumes d'eau dont la teneur en acide carbonique libre était exactement connue, ont montré l'excellence de ce procédé, même en présence de sels alcalins et alcalino-terreux neutres.

Si, comme c'est rarement le cas pour les eaux à poissons, on a employé plus de $0^{cc}4$ de soude — les eaux de source ou les eaux d'aquarium en exigent généralement plus, — il faut soupçonner la présence d'autres acides.

Dans ce cas on remplit encore un autre ballon bien lavé, on le ferme de la façon qui a été décrite et on l'emporte avec soi.

Au laboratoire, on fixe dans le trou du bouchon l'entonnoir à boule qui se trouve dans la boîte à appareils, on chauffe à l'ébullition sur une forte flamme et cinq minutes sur une petite flamme. Si on verse 2 gouttes de l'indicateur dans l'entonnoir, une coloration rouge immédiate indique l'absence d'acides fixes. S'il n'y a pas de coloration, on laisse refroidir et on ajoute de la soude $^{1}/_{22}$ jusqu'à coloration rouge. On obtient ainsi la quantité d'acides étrangers. Celle-ci retranchée de la quantité totale d'acides, on a par différence l'acide carbonique libre.

L'oxygène dissous dans l'eau et l'azote sont dosés au moyen de la burette à gaz ABCDE, reliée avec la pipette d'absorption K contenant une solution cuivrique ammoniacale. Le modèle de la burette est rendu par la figure 109. Le tube CD est entouré du réfrigérant H; le tube mesureur EB est refroidi par l'eau du vase G. Le robinet F muni d'un canal capillaire, permet de fermer le tube mesureur ou bien de le mettre en communication avec le tube capillaire P et de là avec la pipette K.

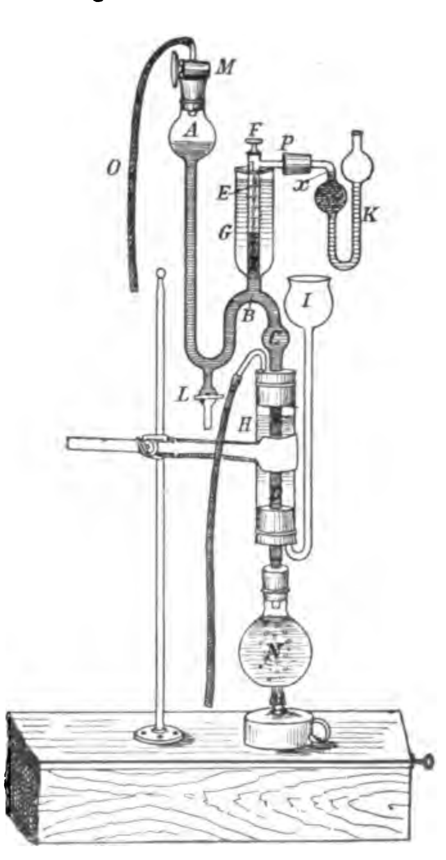


FIG. 109. — Appareil Tenax.

Le tout peut être

maintenu verticalement dans un support en aluminium qu'on pourra visser sur le couvercle de la boîte à appareils.

La marche à suivre pour l'analyse est la suivante :

1. L'appareil gazométrique est placé verticalement dans le statif; on y relie la pipette K et on remplit d'eau froide les refrigérants H et G.

a) La solution de la pipette K ne doit pas dépasser un point X en deçà du coude du tube capillaire. S'il y a un excès, on l'enlève au moyen d'un petit rouleau de papier buvard ; s'il y en a trop peu, on complète le volume par quelques gouttes d'eau ;

b) Après 15 analyses, on renouvelle la solution. Celle-ci est formée de 1 volume de chlorure d'ammonium à 10 °/₀, 1 volume d'une solution saturée de sesquicarbonate d'ammoniaque et 2 volumes d'eau. Il faut établir cette dilution suivant les prescriptions de Hempel, sinon, à cause de la tension de l'ammoniaque, on trouve un résultat trop faible pour l'oxygène ;

c) Chaque fois qu'on ajuste la pipette, on y introduit un peu d'air et on la retire après trois minutes. Le tube capillaire est ainsi rempli d'azote.

2. Le ballon N, contenant l'eau, puisée comme il a été dit et légèrement alcalinisée, est fixé, au moyen du bouchon en caoutchouc, sur l'extrémité inférieure D de la burette, ainsi que l'indique la figure 109.

3. Retirant le robinet F, on remplit d'huile minérale la burette depuis la boule A jusqu'à l'entrée du tube capillaire P. On ferme alors le robinet F en ayant soin de ne pas emprisonner de bulle d'air.

4. On fait bouillir l'eau dans N avec une grande flamme ; puis on continue l'ébullition avec une toute petite flamme pendant dix minutes. Les gaz qui se dégagent, 2 à 2cc5, passent alors dans le tube mesureur, tandis que l'huile refoulée monte dans la boule A. Il faut faire bouillir assez fort

pour qu'il se produise un espace rempli de vapeur dans le dessus du ballon, mais en évitant que l'huile ne soit refoulée au-dessus du renflement C. Lorsque cela arrive, on retire la flamme jusqu'à ce que l'eau ruisselant dans le tube CD vienne remplir l'espace du ballon occupé par la vapeur. Il faut en tout cas procéder à cette opération vers la fin de l'ébullition, pour mélanger à la masse principale et la débarrasser de ses gaz l'eau qui monte dans le tube de la burette. Au milieu et à la fin de l'ébullition, on verse un gobelet d'eau froide dans le réfrigérant.

5. On aspire par le tube O à intervalles précipités, pour faire disparaître les petites bulles formées sur la couche de séparation dans le tube de mesurage EB ; dès que le ménisque est nettement visible, on établit l'égalité des niveaux au moyen du robinet d'écoulement L, et on fait la lecture.

Le tube de mesurage qui ne comprend que 3^{cc}5 est divisé en 0^{cc}1. La distance entre les traits des divisions est assez grande pour qu'on puisse lire avec exactitude 0^{cc},01. Les divisions étant marquées sur la paroi opposée du tube, on évite les erreurs de parallaxe. Il est inutile de faire une correction quant à la convexité du ménisque, parce que celui-ci a été pris en considération lorsqu'on a établi les divisions.

6. En soufflant en O on pousse le gaz dans la pipette K, après avoir fait tourner F de 180°; il faut prendre garde que l'huile ne dépasse le robinet. Après deux minutes on retire le gaz, pour le faire passer ensuite de nouveau pendant cinq minutes dans la burette. On le retire encore une fois et à ce moment on fait en sorte que le liquide de la pipette atteigne exactement le point X. Lorsqu'on a employé de l'huile lourde, on attend au moins cinq minutes ; avec du pétrole ordinaire, une minute suffit ; on lit alors le volume du gaz restant (azote).

Si l'on veut faire plusieurs essais de suite, on laisse l'huile dans l'appareil. En aspirant en O et en fermant le robinet M, on fait un léger vide dans la burette et alors on peut, sans que l'huile s'écoule, retirer le ballon et le remplacer par un

autre. On opère ensuite ainsi qu'il vient d'être dit, en commençant par 3.

Lorsque l'ébullition est terminée, on plonge N dans un vase rempli d'eau froide, pour qu'au début de l'essai suivant il ait pris la température ambiante.

Lorsque le tube mesureur est fortement graissé après une opération, on le frotte avec un chiffon de papier buvard enroulé sur le crochet qui accompagne l'appareil. En même temps on retire l'huile de ce tube en aspirant en O et en fermant le robinet M.

Si c'est nécessaire, on enlève l'eau du vase G au moyen d'un siphon et on la remplace par de l'eau froide.

Un semblable dosage d'oxygène et d'azote exige, à partir du moment de l'ébullition, vingt minutes seulement lorsqu'on emploie du pétrole ordinaire comme fermeture, ce qui donne des résultats suffisamment exacts pour des analyses courantes. Si, pour obtenir des résultats plus précis, on se sert d'huile lourde, il faut dix minutes de plus avant de pouvoir faire la lecture.

Observations sur cette méthode. — Lorsqu'on emploie comme fermeture dans la burette à gaz du pétrole lampant saturé d'air, il doit en résulter dans le dosage de l'oxygène une erreur, parce que les gaz se dissolvent dans le pétrole. D'après de nombreuses constatations, on peut dire que cette erreur consiste à trouver 28 °/₀ au lieu de 31 °/₀ et 12 °/₀ au lieu de 11 °/₀ pour le volume d'oxygène relatif au volume total d'oxygène et d'azote. Cela est vrai pour une première détermination avec du pétrole frais. Si l'on exécute plusieurs essais l'un après l'autre sur des échantillons semblables ou à peu près semblables, cette cause d'erreur disparaît. Comme cette erreur doit toujours être évaluée et qu'elle n'est pas grande, on peut employer du pétrole pour les essais courants, d'autant plus que, grâce à sa fluidité, il permet un travail rapide et propre.

Si l'on désire atteindre une grande exactitude, on emploie, comme fermeture, l'huile connue dans le commerce sous le

nom d'huile de vaseline qui, dans la distillation du pétrole américain, constitue la partie ayant pour densité 0.870 et pour point d'ébullition 340°. Cette huile n'absorbe que de très faibles quantités de gaz, et cela si lentement qu'il ne peut pas en résulter d'erreur appréciable dans les conditions où l'on opère.

Pour vérifier ce fait, on s'est servi, pour analyser des échantillons d'eaux identiques, d'une part d'huile saturée d'air, d'autre part d'huile complètement débarrassée d'air par ébullition et refroidissement dans le vide. Dans un essai on n'a pas trouvé la moindre différence, ou peu s'en faut. Un autre essai, soigneusement conduit, donna avec l'huile privée d'air 1.33 °/₀ d'azote et 0.57 °/₀ d'oxygène, avec l'huile saturée d'air 1.43 °/₀ d'azote et 0.62 °/₀ d'oxygène. L'huile bouillie a donc retenu une petite quantité des deux gaz, sans changer pourtant les valeurs relatives. Si de l'huile vide d'air retient 0^{cc}05 d'oxygène d'un gaz qui en contient 30 °/₀, de l'huile saturée d'air à 21 °/₀ ne retiendra dans les mêmes conditions que 0^{cc}01 d'oxygène.

Une autre preuve de ce fait est fournie par la remarque, que si l'on analyse successivement deux échantillons d'eau identiques sans enlever l'huile de l'appareil, on obtient toujours des résultats très concordants et que les écarts absolus ou relatifs entre ces résultats très concordants se chiffrent dans le sens positif aussi bien que dans le sens négatif.

Les résultats en oxygène obtenus par l'emploi de cet appareil, lorsque les conditions naturelles de saturation de l'eau analysée sont établies avec de l'air, sont le plus souvent plus élevés que ne le faisaient prévoir les lois de la dissolution. A une température élevée, toutes les eaux des rivières, exposées continuellement à l'air libre et qui ne sont ni trop peuplées ni souillées par des matières organiques très oxydables, seraient saturées et même sursaturées d'oxygène.

Dans les eaux fortement souillées par des substances facilement oxydables, l'oxygène de ces eaux est rapidement consommé, surtout sous l'influence de la lumière solaire. D'après N. Zuntz on peut, malgré cela, arriver à des résultats exacts,

en ajoutant à l'eau, au moment de la prise d'échantillon, une solution de permanganate jusqu'à persistance de la coloration rouge.

Les corrections. — Les réductions à 0° et à 760 millimètres de pression, indispensables pour une détermination scientifique, sont considérablement simplifiées par l'emploi d'un petit volumètre sembable à un thermomètre et construit selon la description qui en a été faite précédemment par l'auteur. Le tube ouvert de 2 millimètres de large et de 100 millimètres de long contient un petit index à eau. Pour éviter des mouvements trop rapides et le bris de l'index, on fixe sur l'ouverture du tube un petit tube de même diamètre rempli de ouate.

Par ce moyen l'entrée de l'air est empêchée, de telle façon que l'index n'avance que lentement, même pour une forte aspiration; en outre, il s'équilibre au bout d'une minute. Le tube est pourvu d'une échelle construite de telle façon que lorsque l'index marque par exemple 8.6, le volume observé est de 8.6 °/ₒ plus grand que dans les conditions normales. En divisant par 1.086, on aura le volume réduit. On peut déjà évaluer à première vue la valeur de la correction. Grâce à cet instrument, on peut donc se passer de baromètre, de thermomètre et de tables des tensions. L'exactitude est plus que satisfaisante, car la distance des divisions est de 5 millimètres, de sorte qu'on peut évaluer les dixièmes pour cent avec une grande précision.

La réduction aux conditions normales peut se faire aussi mécaniquement. D'après Lunge, il suffit de comprimer le gaz de la burette et celui du volumètre jusqu'à ce que l'index arrive au zéro, et on obtient le volume réduit. A la place du robinet M, on place un robinet à trois voies. La troisième branche est reliée par du caoutchouc avec le volumètre, tandis que le tube O est relié avec l'autre branche libre.

Dans la position ordinaire du robinet, O et A communiquent seuls entre eux, comme pour le robinet M employé précédemment. Mais dès qu'on veut faire la lecture, on tourne

le robinet de façon que les trois canaux communiquent; on comprime de l'air dans O avec la bouche, jusqu'à ce que l'index corresponde au zéro; on tourne le robinet dans la troisième position et on lit dans la burette le volume de gaz réduit. Les surpressions souvent très appréciables qui surviennent dans ce procédé et qui pourraient soulever le robinet de la burette peuvent être évitées de la façon suivante : au lieu de faire arriver l'index au zéro, on l'amène à la division 11.1, ce qui en général nécessite une légère dilatation, plus rarement une légère contraction. A la division 11.1 le volume est trop grand de 10 %. Il suffit donc d'inscrire le nombre qu'on lit sur la burette et d'en retrancher le dixième.

16. — Sucre et amidon.

Le dosage du sucre, de l'amidon, etc., se fait, après concentration convenable des eaux, suivant le procédé connu, par la liqueur de Fehling, ou même encore par fermentation (pour l'amidon, par saccharification préalable au moyen d'acide chlorhydrique et neutralisation); éventuellement, en présence de fibres et d'albumine par exemple, on opère la saccharification de la masse par addition de diastase, à 60° C; on amène à un volume ou à un poids déterminé, on invertit le filtrat par 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique dans 200 centimètres cubes de liquide et on réduit la liqueur de Fehling en tenant compte de la quantité correspondante à la diastase.

La recherche qualitative du sucre se fait rapidement et nettement par l'α-naphtol et l'acide sulfurique concentré (coloration violette).

17. — Matières albuminoïdes non décomposées.

Pour déterminer les matières albuminoïdes non décomposées dans les eaux, on sature celles-ci d'acide carbonique lorsqu'elles renferment de la chaux, et on les concentre à un faible volume. Si elles contiennent de l'acide sulfhydrique, on

les en débarrasse par l'acétate de plomb; puis on les traite à 60° C par le réactif de Millon (solution de nitrate mercureux, renfermant de l'acide nitreux). S'il y a des matières albuminoïdes, le liquide devient rose. B. Proskauer recommande d'éliminer l'hydrogène sulfuré par agitation avec de l'oxyde de plomb et éventuellement de rechercher l'albumine soluble par la réaction au biuret ou par le ferrocyanure potassique et l'acide acétique; en outre, il faut rechercher l'albumine insoluble dans le précipité.

Lorsqu'il existe des matières albuminoïdes précipitables par un sel de plomb, on précipite par une très faible quantité d'acétate de plomb, on lave le précipité et on le fait digérer avec de la pepsine dans une solution d'acide lactique à 0.5 °/₀. Dans le filtrat on opère la réaction au biuret (solution alcaline de sulfate de cuivre).

18. — Urée.

On fait bouillir 100 centimètres cubes d'eau avec quelques gouttes d'acide acétique, on filtre, on évapore à sec, on extrait par l'alcool, on chasse celui-ci et on reprend par l'eau, et on évapore jusqu'à 3 centimètres cubes.

Réaction par le nitrate mercurique :

> On acidule par l'acide nitrique et on laisse évaporer sous le microscope. S'il y a de l'urée, on voit se former par paires des bâtonnets d'acide urique caractéristiques.

La présence d'urée démontre que les eaux résiduaires sont très fraîches, car l'urée se décompose très facilement, comme on sait.

19. — Matières fécales et produits de putréfaction.

Les déjections animales, de même que les produits de la putréfaction de cadavres d'animaux et de fragments de plantes, contiennent toujours de petites quantités de phénol, crésol,

scatol, indol et de substances analogues qui, avec les composés diazoïques et avec l'acide diazobenzolsulfurique, fournissent des combinaisons d'un jaune intense, qu'on peut reconnaître même dans des liquides très étendus.

P. Griess a basé sur ces réactions une méthode pour la recherche des impuretés provenant de l'urine, des matières fécales, des produits de putréfaction, etc.

On mélange 100 centimètres cubes de l'eau à examiner dans un long cylindre de verre incolore avec un peu de lessive de soude et quelques gouttes d'une solution fraîchement préparée d'acide diazobenzolsulfurique. Comme terme de comparaison, on traite de la même façon dans un second cylindre 100 centimètres cubes d'eau distillée et on place les deux cylindres sur un fond blanc. On observe s'il se produit un changement de coloration au bout de cinq minutes. Dans la négative, on peut conclure, jusqu'à un certain point, à l'absence totale de déjections humaines ou animales ou de produits de putréfaction. Nous pouvons dire avec Griess que la coloration jaune est encore très visible pour une dilution au $^1/_{5000}$ pour l'urine de l'homme, même pour une dilution au $^1/_{50000}$ pour l'urine de cheval.

Des eaux contenant des matières fécales et spécialement celles qui renferment de l'urine donnent une coloration rouge lorsqu'on les chauffe avec de l'acide sulfurique (5 centimètres cubes d'acide concentré pour 100 centimètres cubes d'eau). En même temps il se dégage une odeur d'acides gras. (B. Proskauer.)

20. — Essai sur la constance des eaux résiduaires ; essais de fermentation de ces eaux.

Les autorités exigent souvent qu'une eau reste claire après un ou plusieurs jours, dans certaines circonstances même après dix jours, et qu'elle ne se corrompe pas ; ou bien elles exigent que, vue sous une épaisseur de 20-50 centimètres, elle se montre transparente. Quand ces conditions sont réalisées,

elles considèrent le procédé d'épuration comme donnant des résultats satisfaisants.

Or, ces exigences sont inexactes et n'ont aucune valeur scientifique.

En effet, les eaux résiduaires épurées par des procédés chimiques, principalement par l'emploi de la chaux, peuvent parfaitement être claires et limpides, et rester claires durant des semaines en flacon bien fermé, sans montrer la présence de bactéries, ni l'indice d'une corruption. C'est l'excès de chaux libre lui-même qui s'oppose à une putréfaction ou à la production de bactéries, etc.

Cependant, si les eaux résiduaires ainsi épurées et contenant cet excès de chaux libre restent en vase ouvert pendant des jours ou des semaines, il se forme, à la suite de l'absorption de l'acide carbonique de l'air par la chaux, un trouble laiteux qui finit par former un dépôt de carbonate calcique insoluble (avec plus ou moins de substance organique) et l'eau contient de nouveau de nombreuses bactéries, parfois sans qu'on puisse percevoir aucune odeur putride.

Les bactéries ont déterminé une décomposition plus ou moins complète et une nitrification des substances organiques dissoutes, souvent sans que cette réaction donne lieu à la production d'une odeur fétide.

Même une eau putride, sentant fortement l'hydrogène sulfuré ou l'ammoniaque, perd cette odeur lorsqu'on la conserve en vase ouvert ; par suite de l'auto-épuration résultant de l'action des micro-organismes et de l'oxygène de l'air, elle devient même plus ou moins incolore et claire.

La façon dont se comporte une eau résiduaire épurée, conservée en flacons fermés ou ouverts, ne permet donc pas de dire avec certitude comment cette eau se comportera dans la nature à l'état dilué ou non, c'est-à-dire dans un ruisseau ou une rivière. En effet, en présence des germes qui existent toujours dans les cours d'eau et grâce à la combinaison de la chaux libre des eaux résiduaires avec l'acide carbonique, il peut se passer des phénomènes plus ou moins actifs de putré-

faction avec formation de champignons, surtout lorsque le développement des bactéries putréfiantes est favorisé par une température élevée, ou bien encore quand la masse d'eau et la rapidité du courant sont assez faibles pour que la teneur en oxygène soit insuffisante.

Il est donc de toute importance de constater la résistance des eaux résiduaires épurées à l'état naturel et à l'état de dilution (diluées au $^1/_5$ ou au $^1/_{10}$ avec de l'eau distillée stérilisée, et avec l'eau du ruisseau ou de la rivière provenant de l'endroit où on a pris l'échantillon), en les conservant en flacons ouverts et en flacons fermés, et en observant dans quel laps de temps les matières organiques se décomposent et s'éliminent.

On opère de la façon suivante :

a) On prend une série de flacons de $^1/_2$ à 1 litre. On en emplit deux avec l'eau résiduaire impure; deux autres avec l'eau résiduaire épurée primitive et deux autres encore avec l'eau résiduaire épurée, dont la chaux libre a été neutralisée par l'acide carbonique. On emplit, en outre, deux flacons d'eau résiduaire diluée au moyen d'eau distillée stérilisée, et deux autres encore d'eau résiduaire diluée avec de l'eau du ruisseau ou de la rivière en question. Enfin, on emplit deux flacons du ruisseau ou de la rivière elle-même. On laisse tous ces échantillons en flacons ouverts;

b) On prend une même série d'échantillons semblables, que l'on ferme simplement avec des tampons d'ouate stérilisée;

c) On prend, enfin, une dernière et même série, mais en ayant soin de fermer hermétiquement les flacons à l'aide de bouchons de liège.

L'un des flacons de chacun de ces nombreux couples est conservé à basse température (0° à 10°C) et l'autre à 10°-20° C.

Lorsqu'on a affaire à une eau résiduaire qui ne contient pas de bactéries de la putréfaction, on prépare encore une autre série de flacons, auxquels on ajoute un liquide en fermentation ou en putréfaction.

Chaque échantillon, au bout de quelque temps, est soumis à l'analyse chimique : on dose l'ammoniaque, l'azote organique ou l'ammoniaque albuminoïde, l'acide nitreux, l'acide nitrique et l'hydrogène sulfuré qu'il contient; on examine en outre son oxydabilité, sa coloration, son odeur, etc. D'autre part, on en fait l'examen microscopique et bactériologique, à l'aide de cultures sur plaques. Enfin, on en fait l'examen biologique en étudiant les processus de fermentation et les phénomènes qui l'accompagnent, et en se préoccupant spécialement de la question de savoir si ces phénomènes s'accomplissent facilement et rapidement ou lentement; car c'est un point important pour juger de la façon dont se fera l'autoépuration.

Si l'expert-chimiste n'est pas assez familiarisé avec des recherches de cette espèce, il aura soin de transmettre à des spécialistes les échantillons, aussitôt après les avoir prélevés.

2. — Examen biologique.

Tout cours d'eau naturel doit, pour que les poissons puissent y vivre d'une façon permanente, contenir une grande quantité d'animaux et de végétaux qui, directement ou indirectement, leur servent de nourriture.

Si, dans un cours d'eau à poissons, les conditions d'existence naturelles se trouvent modifiées par des impuretés, la flore et la faune réagissent, selon le degré et la nature de la pollution, et cette réaction peut se manifester de deux façons différentes :

1° S'il s'agit d'une pollution très intense, déterminée par des substances qui, comme les poisons métalliques, par exemple, sont absolument nuisibles à la vie des organismes, tous les animaux et les végétaux peuvent mourir. Dans ce cas le cours d'eau pourra être complètement dépourvu d'animaux et de végétaux, tout en paraissant tout à fait pur et limpide.

2° S'il s'agit de pollutions moins intenses, ou bien si ces

pollutions sont dues à des substances qui, par elles-mêmes, ne sont pas nuisibles à la vie des organismes, comme par exemple une foule de déchets organiques de l'épuration des villes, de brasseries, de distilleries, de fabriques de pâte de bois, de moulins, d'amidonneries, de sucreries, de tanneries, etc., les animaux et les végétaux ne disparaissent pas toujours et fatalement tous; mais la faune et la flore primitive du cours d'eau peuvent se modifier en ce sens qu'une partie de leurs représentants succombent à l'action des nouvelles conditions d'existence dans lesquelles ils se trouvent placés, *tandis que d'autres représentants de la faune et de la flore prennent un développement exagéré.*

Il sera donc possible, dans certains cas, de tirer de l'étude de la faune et de la flore une conclusion concernant l'existence d'une pollution nuisible de l'eau.

Cette pollution peut être considérée comme certaine :

A. — *Lorsque les poissons qui existent dans l'eau sont atteints de maladies* qui ne se produiraient pas si les conditions étaient naturelles.

Parmi ces maladies, on a signalé par exemple : les hémorragies dans les branchies, à la suite de l'irritation mécanique exercée par la limonite, la lignite, la houille, etc.; l'apnée et l'anémie provoquées par l'action exercée sur les branchies par la pâte à papier; les troubles de la cornée, la cécité ou la destruction complète de l'œil, occasionnés par des eaux résiduaires contenant du fer; la destruction de grandes surfaces de l'épiderme et des écailles, ainsi que la formation d'ecchymoses dans la bouche et le pharynx, due à l'action des acides ou des alcalis avec infection consécutive par des champignons, etc. [1].

Il faut pourtant agir avec prudence quand il s'agit d'apprécier la cause de ces maladies [2].

[1] HOFER, *Fischkrankheiten*. (ZEITSCHRIFT FÜR FISCHEREI, 1895.)
[2] J. KUPSIS a récemment publié un très beau travail sur l'intoxication

On ne doit pas oublier qu'il n'est pas rare que, dans la nature, de grandes épidémies éclatent parmi les poissons; par exemple, les maladies dues à des Sporozoaires et qui frappent le barbeau de la Meuse, de la Moselle et d'autres fleuves; les infections dues aussi à des Sporozoaires, et qui éclatent dans les étangs à truites (infection du cerveau); la pustulose de la carpe; l'épidémie rouge de l'anguille; l'épidémie occasionnée chez la truite par le *Bacterium salmonicida* (Emmerich), la peste de l'écrevisse, etc. [1].

Il faut, en outre, insister sur ce fait, qu'il y a toute une série de maladies épidémiques dont les causes sont encore inconnues [2].

Des *crues* très violentes peuvent aussi détruire beaucoup de poissons et leur action est mécanique. Mais par une étude minutieuse de toutes circonstances secondaires et même en procédant par exclusion, il sera toujours possible de décider avec certitude si une maladie qui a occasionné la mort d'un grand nombre de poissons ne s'est pas produite par voie naturelle.

B. — Il faut considérer comme certaine la pollution d'une eau lorsque sa faune d'animaux inférieurs :

des poissons, des animaux inférieurs et des bactéries par le naphte. Mais je ne puis que le signaler ici. — Voir *Zeitschrift für Fischerei*, 9 Band, 1901-1902, III und IV Heft, S. 144.

[1] Pour plus de renseignements, voir *Allgem. Fisch. Zeitg.*, 1897, nos 6 et 20; 1898, nos 1, 2, 4, 12 et 15.

[2] Pour ce qui concerne l'objection, si souvent présentée dans la pratique, que des poissons présumés avoir été tués par des eaux résiduaires seraient en réalité morts à la suite d'explosions de dynamite, de chaux vive, etc., je ferai remarquer ici qu'il est possible d'établir par l'examen anatomique du cadavre d'un poisson si sa mort a été l'œuvre d'un explosif. Les poissons qui ont été tués par la dynamite, la chaux, etc., ont généralement leur vessie natatoire déchirée. Leur colonne vertébrale est aussi fréquemment brisée en plusieurs points. Quand on expédie des poissons à examiner, ils doivent être envoyés, autant que possible, dans de la glace et de la paille, chacun d'eux étant séparément enveloppé dans du papier-parchemin ou de la toile.

a) Ou bien est complètement détruite, ou n'est plus représentée que çà et là par quelque spécimen, de sorte qu'elle ne peut plus constituer une nourriture pour le poisson ;

b) Ou bien a perdu ses caractères primitifs [1].

Dans l'un comme dans l'autre cas, l'expert doit comparer la partie polluée avec une partie voisine du même cours d'eau, aussi équivalente que possible, qui n'a pas été polluée. Il doit, autant que possible, par une détermination numérique, établir la différence qui existe entre elles, en ce qui concerne la nature de la faune et l'abondance des diverses espèces.

Pour ce qui regarde le litt. a. — Un examen minutieux de la faune d'un cours d'eau pourra établir, avec toute la certitude désirable, l'absence de tout animal vivant.

Pour cela, il est nécessaire que l'on pêche avec soin, à l'aide de fins filets de gaze, dans les endroits les plus divers, dans l'eau libre, le long des rives et surtout en arrière des avancées où l'eau stagne. Il est aussi nécessaire de s'assurer s'il n'existe pas d'animaux sur le fond de l'eau, de rechercher quelles plantes y existent, d'examiner les enduits de pierres, les fragments de bois en putréfaction, les pilotis, etc. Lorsque, dans les échantillons expédiés conformément aux règles que nous avons indiquées plus haut (p. 589), on ne trouve aucun organisme vivant, on ne peut pourtant pas encore conclure avec certitude qu'ils font complètement défaut dans le cours d'eau en question. Pour s'en assurer, l'expert doit confirmer le résultat fourni par l'examen des échantillons, en exécutant des recherches sur place.

L'étude est plus difficile quand, à la suite de pollutions, la faune n'est pas complètement détruite, mais qu'elle n'est que plus ou moins disparue.

[1] En supposant, bien entendu, que ce changement dans la nature de la faune, sur l'étendue du cours d'eau que l'on considère, n'est pas la conséquence de la construction de barrages importants, de travaux de terrassement sur les rives, de travaux de rectification des cours d'eau, etc.

Dans ce cas, seule la comparaison avec une étendue d'eau non polluée, aussi proche et aussi semblable que possible de celle qui est contaminée. peut fournir des éclaircissements. Cette comparaison exige généralement une longue recherche, et il en est de même, entre autres, quand on constate la présence d'animaux malades.

Pour ce qui regarde le litt b. — Les animaux sont diversement sensibles aux changements apportés aux conditions de leur existence. Les uns ne vivent que dans une eau bien oxygénée et claire, dont le lit est pierreux et le cours rapide ; d'autres, au contraire, prospèrent dans des eaux en putréfaction et pauvres en oxygène, présentant un lit profond, pourvu de nombreux trous où l'eau est stagnante, etc.

Ainsi, par exemple, les espèces spécialement caractéristiques des cours d'eau purs et rapides, où vivent les truites sont :

1. Le *Gammarus pulex* (fig. 89).
2. L'*Ancylus fluviatilis* (fig. 90).
3. Les larves des Moustiques : *Simulia ornata* (fig. 99).
4. Les larves de certains Phryganides : *Hydropsyche atomaria* (fig. 97), *Rhyacophila vulgaris* (fig. 98).

Ces formes disparaissent des eaux à cours rapide, quand celles-ci sont polluées par des eaux vannes contenant, en très grande proportion, des matières organiques.

Pour ce qui concerne les cours d'eau qui, d'une façon naturelle, sont riches en matières organiques, et pour ce qui regarde la faune de ces cours d'eau, nous renvoyons à ce que nous avons dit en parlant de l'autoépuration, ainsi qu'aux figures que nous avons publiées à cette occasion.

Ces formes peuvent aussi exister, parfois même en très grande abondance, dans des eaux courantes, lorsque ces eaux s'enrichissent de matières organiques ou qu'elles sont polluées par des déchets de nature organique. Il est bien entendu que les espèces que nous avons citées précédemment ne doivent pas exister dans toute eau pure ou dans toute eau polluée. On ne doit les considérer comme « faunes caractéristiques » qu'entre les limites de leur distribution géographique habituelle.

C. — On doit considérer comme certaine la pollution d'une eau :

a) Lorsque la flore du cours d'eau, végétaux supérieurs aussi bien qu'inférieurs, est détruite ou diminue beaucoup et rapidement ;

b) Lorsque les Algues vertes, qui ne vivent qu'en eau pure, diminuent ou disparaissent et qu'en même temps d'autres Algues et champignons, qui exigent pour se nourrir des composés organiques, deviennent plus abondants.

Les méthodes employées pour ces recherches sont en général les mêmes que celles que nous avons signalées pour l'étude comparative des animaux.

Pour ce qui regarde le litt. a. — La nature et l'état de végétation des végétaux supérieurs et inférieurs que contient un cours d'eau aident souvent à apprécier la valeur de cette eau.

Il convient de s'assurer si, en un endroit soupçonné pollué, les plantes se distinguent, par leur nombre absolu et par le nombre de leurs espèces, d'avec ce qui existe en d'autres endroits du même cours d'eau ou d'un cours d'eau semblable et voisin. Il faut établir, en outre, si la flore a subi, depuis peu de temps, des changements importants et spécialement si toutes les plantes ou une partie d'entre elles ont été atteintes de maladies ou sont mortes et, dans ce cas, si leur mort s'est produite rapidement ou progressivement.

La mort subite des végétaux d'un cours d'eau doit, si l'on ne peut l'attribuer à une autre cause, être considérée comme l'indice d'une forte pollution. De même, l'absence complète de végétaux supérieurs dans des parties d'un cours d'eau, qui ailleurs en contient comme d'habitude, indique que ces parties sont gravement polluées. Quand une eau courante s'épure progressivement, les végétaux supérieurs y réapparaissent peu à peu. C'est ainsi que, dans certains cas, on constate que dans une rivière, en aval de la source de pollution et après une certaine étendue complètement dépourvue de végétation, il réapparaît successivement : parmi les plantes aquatiques,

Potamogeton pectinatus (fig. 110), *Ranunculus fluitans* (fig. 112), *Lemna minor* (fig. 111), *Ceratophyllum demersum* (fig. 113); parmi les plantes de rivage, *Sparganium ramosum* (fig. 114), *Sagittaria sagittaefolia* (fig. 115), *Glyceria spectabilis* (fig. 116), *Butomus umbellatus* (fig. 117), *Alisma plantago* (fig. 118).



FIG. 110. *Potamogeton pectinatus.* FIG. 111. *Lemna minor.* FIG. 112. *Ranunculus fluitans.*

Par contre, les espèces que nous allons citer semblent spécialement sensibles à l'action des impuretés et leur présence constitue par conséquent un indice de la pureté de l'eau Ce sont : *Hippuris vulgaris* (fig. 119), *Callitriche vernalis* (fig. 120) et *Montia rivularis* (fig. 121); puis les nénuphars : *Nymphea alba* (fig. 122), *Nuphar luteum* (fig. 123) et *Scirpus lacustris* (fig. 124).

Pour ce qui concerne le litt. b. — En général, les Algues vertes, qui flottent librement dans l'eau ou qui forment des



Fig. 113.
Ceratophyllum demersum.



Fig. 114.
Sparganium ramosum.



Fig. 115.
Sagittaria sagittifolia.



Fig. 116.
Glyceria spectabilis.



Fig. 117.
Butomus umbellatus.



Fig. 118.
Alisma plantago.

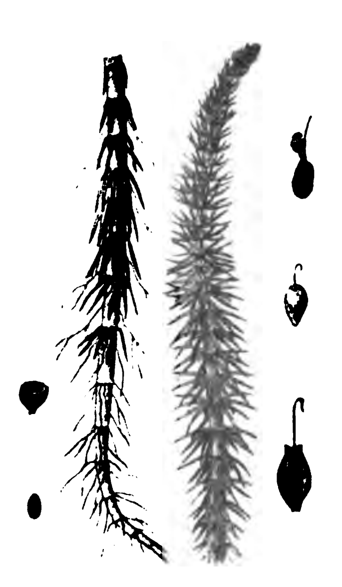


Fig. 119.
Hippuris vulgaris.



Fig. 120.
Callitriche vernalis.



Fig. 121.
Montia rivularis.



Fig. 122.
Nymphea alba.

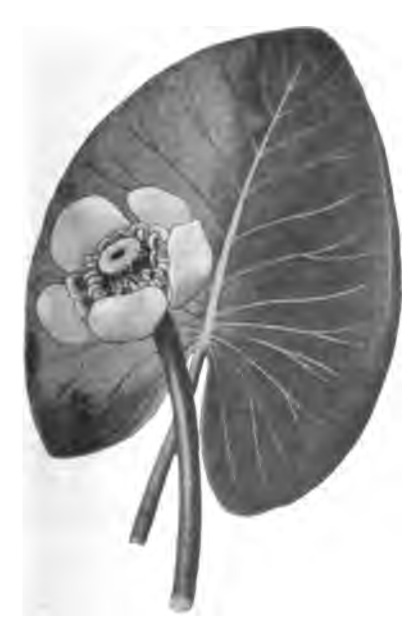


Fig. 123.
Nuphar luteum.



Fig. 124.
Scirpus lacustris.

enduits ou des touffes sur des objets qui se trouvent dans l'eau, aiment l'eau pure et, par conséquent, on doit considérer comme un signe de la pureté d'une eau — surtout s'il s'agit d'une eau stagnante ou d'une eau à cours lent, — la présence d'une riche végétation d'Algues vertes, qui croît normalement. On trouve des amas de Bacillariées (Diatomées) dans des eaux de nature très diverse. Il est par conséquent nécessaire, si l'on veut déduire de leur présence une conclusion relative à la nature de l'eau, de déterminer exactement les espèces qui s'y trouvent. Certaines espèces d'Algues vertes, telles que *Vauchériées*, *Scenedesmus*, *Raphidium*, *Pedrastrum*, vivent non seulement dans de l'eau pure, mais aussi dans de l'eau sale. Par conséquent, il faut, pour le moment, laisser en général à des botanistes expérimentés le soin de juger de la composition d'une eau, en se fondant sur la nature des végétaux inférieurs qui y vivent.

Quand une eau renferme les végétaux inférieurs qu'on y trouve normalement, mais qu'on constate que ces végétaux sont malades ou morts, c'est un indice que le cours d'eau est pollué depuis peu de temps. On reconnaît, en général, que les cellules des Algues sont mortes, à ce que le protoplasme est détruit et qu'on constate dans le corps de la cellule soit des éléments colorés qu'il ne contient pas normalement, soit des changements de coloration des éléments colorés qu'il contient normalement.

Je citerai encore quelques circonstances qui démontrent la présence d'impuretés de nature organique dans l'eau :

1. Quand il s'y trouve de très grandes quantités de bactéries, surtout *Sphaerotilus natans,* qui, dans les cours d'eau souillés par certaines eaux industrielles, recouvre souvent, en masses énormes, tous les objets qui se trouvent dans l'eau et forme de véritables enduits ou de gros flocons sales, ressemblant à de la laine. Citons aussi diverses espèces de *Beggiatoa*, qui constituent des enduits et des amas, blanc de craie et souvent moisis.

2. Quand il s'y trouve certains Phycomycètes, comme *Lep-*

tomitus lacteus notamment, qui au microscope ressemble à *Sphaerotilus*.

3. Quand il s'y trouve de nombreuses Algues du groupe des Cyanophycées. Elles se reconnaissent à leurs cellules qui ne contiennent pas des matières colorantes d'un vert pur, mais des éléments colorés bleu vert, bleus, vert-olive, etc. La famille des Oscillariées (longues Algues filamenteuses, recourbées, qui exécutent des mouvements de reptation tout particuliers), vit spécialement dans de l'eau souillée. La présence de grandes quantités d'Oscillariées dans une eau est un indice que l'eau est polluée.

3. — Examen bactériologique.

Les principes généraux qui sont applicables à l'étude bactériologique des eaux polluées sont, en une foule de points, semblables à ce que nous avons fait connaître en parlant de l'examen biologique. Dans toute eau naturelle peuplée de poissons se trouvent, indépendamment d'animaux et de végétaux plus élevés dans la série, des bactéries, qui sont les végétaux les plus inférieurs. Les bactéries y vivent en nombre plus ou moins considérable.

Lorsqu'une eau est polluée par des substances, qui, comme les poisons métalliques, sont absolument nuisibles à la vie organique, le nombre des bactéries diminue, comme nous l'avons dit en parlant de l'examen biologique de l'eau et, dans certains cas, les bactéries peuvent même être toutes tuées. Mais quand une eau contient des impuretés qui par elles-mêmes ne nuisent pas à la vie organique, surtout quand ces impuretés sont des substances organiques, alors le nombre des bactéries qu'elle contient augmente généralement très vite, parce que ces organismes se multiplient très rapidement quand ils se trouvent dans des milieux nutritifs qui leur sont favorables. Cette multiplication se produit longtemps avant que l'eau se modifie au point de vue biologique.

De la teneur d'une eau en bactéries on peut donc, jusqu'à

un certain point, conclure à la quantité de substances organiques qu'elle contient, et l'on peut admettre que dans une eau riche en bactéries se trouvent réalisées les conditions de nutrition qui leur sont favorables, c'est-à-dire que cette eau contient des substances organiques capables de se décomposer.

Parmi ces substances organiques, il en est qui méritent tout spécialement notre intérêt : ce sont les substances azotées non volatiles, en première ligne, les corps albuminoïdes et les composés voisins; puis viennent les substances hydrocarbonées et parmi elles notamment les hydrates de carbone. Sous l'influence de la vie des bactéries, les substances azotées non volatiles peuvent fournir des produits qui déterminent la putréfaction dite « fétide »; les substances hydrocarbonées, par contre, subissent des décompositions que l'on réunit sous le nom de « fermentations ». La putréfaction et les fermentations, outre d'autres inconvénients, peuvent compromettre la vie des poissons. Ces considérations suffisent à faire comprendre qu'il y a lieu de rechercher si les eaux sont riches en bactéries; mais les résultats fournis par cette recherche n'ont de valeur pour juger du danger que présentent ces eaux qu'à condition que la nature spécifique des impuretés soit reconnue et que l'on tienne compte de toutes les circonstances locales.

Pour ce qui concerne la présence de bactéries pathogènes, toute eau de surface est *suspecte* d'en contenir, parce qu'elle peut, en tout temps et en tout lieu, être infectée par des déjections humaines.

Les méthodes destinées à découvrir ces germes toxiques varient avec l'espèce de l'agent infectieux qui se trouve en cause. Le procédé d'examen d'une eau suspecte de choléra est autre que celui d'une eau suspecte de typhus. La découverte des germes du typhus est l'une des recherches les plus difficiles; mais on y est parvenu en ces derniers temps, dans des cas isolés et favorables à cette étude.

Il n'y a pas que l'eau contenant des déjections humaines qui soit suspecte d'infection, mais souvent aussi les eaux résiduaires des industries qui traitent des matières animales.

L'examen bactériologique d'une eau doit donc tout d'abord déterminer la quantité de bactéries qu'elle contient. Dans une bonne eau, pas trop souillée, il n'existe qu'un petit nombre de bactéries par centimètre cube. Quand la souillure est très forte, c'est-à-dire quand elle est importante au point de vue pratique, la prolifération des bactéries est très considérable et, par conséquent, 1 centimètre cube d'eau contient alors des milliers de germes. Seule une étude comparative, exécutée autant que possible à des intervalles déterminés, permet de conclure avec certitude.

Quand, dans une eau dont le nombre des germes était précédemment minime, il se fait subitement une multiplication des bactéries, c'est toujours parce qu'il s'y est introduit des substances nutritives pour les bactéries, c'est-à-dire des ordures de nature organique.

Ici il faut aussi tenir compte en même temps des conditions météorologiques; car c'est un fait connu que le nombre des bactéries tend à augmenter plus ou moins fortement dans les cours d'eau pendant et après des chutes d'eau météorique. Quand un cours d'eau reçoit des eaux provenant de la surface du sol, le nombre des germes qu'il contient augmente aussi beaucoup. En outre, l'examen bactériologique doit déterminer quelles espèces de bactéries existent dans l'eau; car de la constatation des germes qui s'y trouvent en excès, on peut parfois conclure au degré et à la nature de la pollution, comme c'est le cas aussi pour l'examen biologique.

Comment on procède à l'examen bactériologique. — L'examen bactériologique de l'eau n'est concluant qu'à condition que, entre le moment où a été effectuée la prise d'échantillon d'eau et celui où a lieu l'examen de cette eau, les bactéries ne puissent se multiplier. Cet examen n'a donc de valeur, comme nous l'avons déjà dit plus haut, que si l'eau est étudiée immédiatement après la prise d'échantillon ou bien si, pendant le temps qui s'écoule entre ces deux opérations, l'eau est maintenue froide. Si donc l'examen n'a lieu qu'après que l'eau a subi un long transport, il faut tout d'abord constater quelle

température règne à l'intérieur du réservoir employé pour l'expédition.

Si cette température ne dépasse pas 5° C., la teneur de l'eau en bactéries n'aura, selon toute prévision, pas essentiellement changé. On ne peut admettre que l'on ajoute à l'eau, dans le but de la conserver, des substances qui empêchent les bactéries de se multiplier.

Pour déterminer le nombre des bactéries, on opère de la manière suivante : de la gélatine de culture [1], déposée dans des tubes à réaction, à raison de 10 centimètres cubes par tube et que l'on a stérilisée dans ces tubes après les avoir fermés avec un tampon d'ouate, est liquéfiée au bain-marie à une température d'environ 30° C. Dans ces différents tubes ainsi préparés on introduit alors, à l'aide d'une pipette graduée et stérilisée, une quantité déterminée de l'eau à étudier. On mélange, aussi uniformément que possible, l'eau à la gélatine, en agitant le tube et en évitant des secousses trop brusques, qui pourraient introduire des bulles d'air.

Le contenu de chaque tube est ensuite répandu sur le fond d'une cuvette (plaque) stérilisée de Petri. Pour faire cette opération, on enlève le tampon d'ouate et on stérilise encore spécialement à l'aide de la flamme d'un brûleur de Bunsen ou d'une lampe à alcool le bord du tube sur lequel doit couler la gélatine quand on la versera. La plaque de Petri doit, en outre, être placée horizontalement pour que la gélatine se répande sur toute la surface du fond [2]. On se sert pour cela d'un tré-

[1] Il n'est naturellement pas indifférent d'employer telle ou telle gélatine, de la gélatine de jus de viande, de la gélatine acide ou de la gélatine alcaline. etc. Le choix de la gélatine de culture ou du milieu nutritif qui convient doit être réglé d'après la nature de l'eau résiduaire ; il est laissé au bactériologiste qui fait l'examen.

[2] Naguère la gélatine ensemencée était versée sur des plaques de verre stérilisées, de sorte qu'il était absolument nécessaire que ces plaques fussent horizontalement posées pour éviter que la masse visqueuse s'écoulât. On employa plus tard, c'est-à-dire dans la méthode de cultures sur plaques de Koch, un appareil réfrigérant qui faisait

pied à niveau (fig. 125). Ce trépied consiste en un triangle de bois porté par trois vis mobiles qui lui servent de pieds ; sur le triangle repose une plaque de verre. Au moyen d'un niveau d'eau, la plaque de verre est placée horizontalement et avec elle la cuvette de Petri (ou la plaque de Koch) qu'elle supporte.

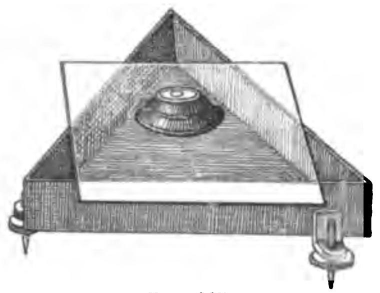


FIG. 125.

On peut aussi, quand on cultive sur cuvette double de Petri, placer dans la cuvette inférieure une quantité déterminée de l'eau à examiner, puis verser par-dessus la gélatine, en prenant les précautions indiquées plus haut ; enfin, couvrir à l'aide de la cuvette supérieure et secouer les deux cuvettes ensemble, afin de mélanger l'eau et la gélatine de culture. Ce procédé a pour avantage d'éviter toute perte de l'eau à étudier, si minime soit-elle. Par l'autre méthode, il peut rester de l'eau dans le tube à réaction.

Quand on doit étendre l'eau chargée de bactéries qu'il s'agit d'examiner, on l'ajoute, en quantité déterminée, à des volumes différents d'eau distillée stérilisée. On opère naturellement

figer plus promptement la gélatine. Ce dispositif a été conservé dans la méthode de cultures sur plaques creuses (cuvettes), comme le sont celles de PETRI. L'appareil réfrigérant consiste en une large cuvette de verre à fond plat, dans laquelle se trouve une seconde cuvette semblable, mais un peu plus petite et dont le bord. usé à la meule, est un peu moins élevé que celui de la cuvette externe. La cuvette interne est remplie d'un mélange de glace et d'eau ; elle est fermée par une plaque de verre dépoli. Tout cet appareil est alors placé horizontalement, comme nous l'avons dit, la plaque stérilisée étant déposée sur la plaque de verre refroidie. On verse la gélatine sur la plaque stérilisée, de façon qu'elle prenne, autant que possible, une forme quadrangulaire à côtés rectilignes, ce qu'on apprend aisément à faire. On laisse alors la plaque ensemencée se refroidir et se figer en l'abritant sous une cloche de verre.

avec une pipette stérilisée; puis on secoue avec soin et, à l'aide de ces dilutions, on prépare des tubes contenant de la gélatine.

Il faut que tous les instruments, les vases et les liquides que l'on emploie soient stériles, dépourvus de germes. Il faut aussi que toutes les manipulations se fassent de telle sorte qu'il ne puisse s'introduire de germes étrangers, provenant de l'air ou des doigts et des vêtements de l'opérateur.

Les plaques ensemencées, préparées comme il est dit plus haut, restent au repos jusqu'à ce que la gélatine soit figée; on les tient alors dans l'obscurité à une température de 20 à 22° C. environ. Après quarante-huit heures environ, les différents germes ont formé des colonies visibles à l'œil nu, que l'on peut compter à la loupe ou sous le microscope à un faible grossissement. On ne peut dire *a priori* quand il convient le mieux de faire cette numération. En effet, les bactéries de l'eau ne se développent pas toutes avec la même rapidité. Quand elles se développent rapidement, on peut commencer assez vite la numération; dans d'autres cas, il est souvent avantageux d'attendre longtemps avant de compter les colonies. Il convient, par conséquent, de faire la numération plusieurs jours de suite, attendu que des germes à développement très lent ne peuvent souvent s'observer et se compter que tardivement.

Dans ces derniers temps [1] on a recommandé un autre milieu de culture pour l'étude bactériologique de l'eau. Il aurait sur la gélatine l'avantage de permettre le développement d'un nombre beaucoup plus considérable des bactéries que contient l'eau. En outre, il ne se liquéfie pas par l'action du développement des bactéries, comme c'est le cas pour la gélatine, ce qui empêche souvent de tenir longtemps en observation les cultures sur gélatine. En tout cas, on ne connaît pas encore de moyen permettant une distinction caractéristique des germes.

[1] Voir Hesse und Niedner, *Zeitschrift für Hygiene*, Bd XXIX, S. 460.

On prépare le milieu de culture en question en dissolvant dans 1 litre d'eau distilllée 12gr5 d'agar-agar et 7gr5 d'albumose de Heyden [1]. On n'a pas encore fait de très nombreuses expériences avec ce milieu de culture.

Pour obtenir cette solution, il faut faire cuire le mélange, que l'on verse ensuite dans les tubes à réactions. On plonge ensuite ces derniers dans de l'eau à 40° C. environ, jusqu'à ce qu'ils aient pris cette température. C'est alors seulement qu'on y ajoute l'échantillon d'eau à examiner. Puis, on verse sur plaques et on laisse figer; on doit alors renverser les doubles cuvettes de Petri, afin d'éviter que des gouttes d'eau de condensation ne tombent du couvercle sur la culture. On maintient ces plaques ensemencées, à une température de 20° C., et elles peuvent être examinées pendant dix jours au moins.

Pour être certain du résultat, il faut effectuer en même temps cinq échantillons, au moins, de la même eau; on prend ensuite la moyenne des nombres obtenus.

Afin de n'être pas contraint de compter toutes les colonies, on recommande d'employer l'appareil à compter que repré-

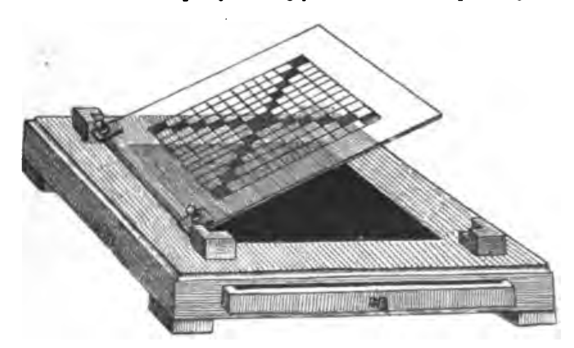


Fig. 126.

sente notre figure 126. C'est une plaque de verre subdivisée en champs de 1 centimètre carré et que l'on pose sur la

[1] Il faut l'acheter à la fabrique de produits chimiques de V. Heyden, à Radebeul, près de Dresde.

cuvette de Petri. On compte alors le nombre des colonies qui se sont développées sur un certain nombre de ces champs. On calcule la moyenne des chiffres obtenus par centimètre carré et l'on multiplie par le nombre de centimètres carrés de surface de la cuvette de Petri, en se servant de la formule πR^2. Quand on ne possède pas cet appareil à compter, on peut y suppléer en divisant la face externe du fond de la cuvette en huit ou en seize segments égaux, par des traits de crayon de couleur. On compte alors le nombre de colonies qui se sont développées sur un certain nombre de ces segments. Récemment on a fabriqué des doubles cuvettes de Petri, dont la cuvette intérieure porte, à sa surface, un quadrillé, ce qui rend inutile l'emploi de l'appareil à compter [1].

Quand il ne s'est pas développé plus de 1,000 germes sur une plaque, on peut compter les colonies. Il faut donc toujours ensemencer diverses dilutions de l'eau à examiner et l'on choisit alors celle qui se prête le mieux à compter les colonies.

Notre figure 127 est l'image d'une plaque dont les colonies sont si nombreuses qu'il est impossible de les compter. La figure 128 représente une plaque dont on peut encore bien compter les colonies.

Pour les compter à l'aide du microscope, on procède à peu près de la même manière (voir Neisser, *Zeitschrift für Hygiene*, Bd XX, S. 118). Ce procédé donne généralement des chiffres plus élevés et il est plus précis.

Après avoir compté les colonies, on peut les observer et éventuellement entreprendre des cultures pures des divers germes, pour les étudier comme telles. Cependant, comme je l'ai dit précédemment, on n'est pas encore parvenu jusqu'ici à pouvoir tirer du nombre et de la nature des diverses bactéries, des conclusions relatives au degré et à la nature de la pollution de l'eau.

[1] On peut se procurer ces cuvettes chez Warmbrunn, Quilitz et Cie, à Berlin.

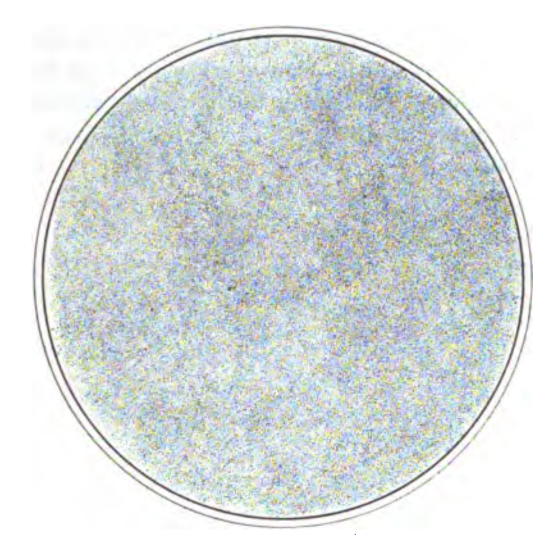


Fig. 127.

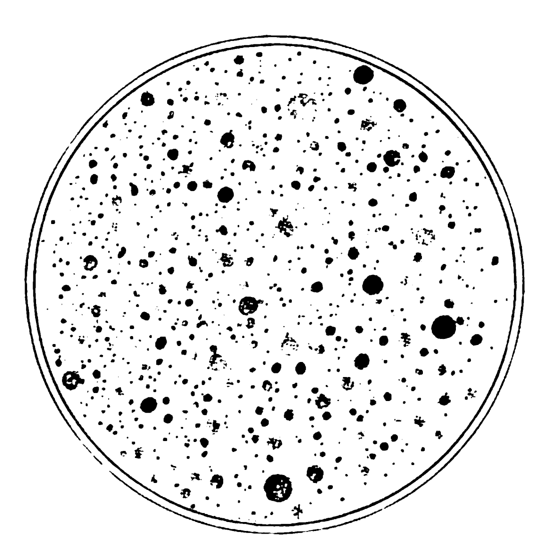


Fig. 128.

Nous ne pouvons entrer ici dans plus de détails concernant les méthodes usitées. On les trouvera décrites dans tout traité de bactériologie, spécialement dans Mez, *Mikroskopische Wasseranalyse;* Berlin, 1898, et Flügge, *Die Mikroorganismen;* Leipzig, 1896.

TABLE DES MATIÈRES

Achevé d'imprimer le 31 décembre 1903.

CORRECTIONS ET ADDITIONS.

Page 11, 21e ligne, au lieu de convient, lire *convint*.
— 14, 16e — — une question, lire une *autre* question.
— 32, dernière ligne, au lieu de page 29, lire page *30*.
— 33, — — page 29, lire page *30*.
— 39, 6e ligne, au lieu de ni de mentionner, lire ni *à* mentionner.
— 43, 17e — — Gasteroteus, lire *Gasterosteus*.
— 44, 21e — — Phroxinus, lire *Phoxinus*.
— 45, 8e — — Reickardt, lire *Reichardt*.
— 47, 29e — — landeswirthschaflichen, lire *Naturwissenschaftlichen*.
— 48, 33e — — Saligo, lire *Seligo*.
— 49, 19e — — Güntner, lire *Günther*.
— 51, 31e — — Rohrzuckerfabriken, lire *Rohzuckerfabriken*.
— 65, 35e — — lac de Laacher, lire lac de *Laach*.
— 98, avant-dernière ligne, au lieu de Einfluss nach, lire Einfluss *stark*.
— 210, au lieu de 11. Simo ceferlus, lire *Simocephalus*.
— 235, dernière ligne, au lieu de Valentiners, lire *Valentiner*.
— 238, — — Münster a. Str., lire *Münster a. St.* (*am Stein*).
— 251, 32e ligne, au lieu de the Beziehungen, lire *ihre* Beziehungen.
— 256, 17e — — lac de Wessecker, lire *lac de Wesseck*.
— 280, 7e — — Mathias Stimes, lire *Mathias Stinnes*.
— 281, 6e — — Polek, lire *Poleck*.
— 285, — Gottersegen, lire *Gottesegen*.
— 290, avant-dernière ligne, au lieu de Langenkanal, lire *Laugenkanal*.

Page 300, 27e ligne, au lieu de Hundershagen, lire *Hundeshagen*.

— 341, dernière ligne, au lieu de Stadtereinigung, lire *Städtereinigung*.

— 343, dernière ligne, au lieu de Lanwirtschafsgesellschaft, lire *Landwirtschaftsgesellschaft*.

— 343, avant-dernière ligne, au lieu de Abfalstoffe, lire *Abfallstoffe*.

— 347, au lieu de Gorlitz, lire *Görlitz*.

— 348, dernière ligne, au lieu de Stadt Strassenwesen und Stadtereinigung, lire *städtisches Strassenwesen und Städtereinigung*.

— 364, dernière ligne et page 370 avant-dernière ligne, au lieu de städtlicher, lire *städtischer*.

— 372, remplacer le tableau du haut de la page par le suivant :

Origine.	Profondeur-centim.	100 kilogr. absorbent en litres.
Marais de Burtange.	15 - 47	990
(région d'Osnabrück). . .	112 - 147	1,601
Marais d'Helleweg	58 - 86	1,335
(région de Stade).	31 - 57	1,375
Marais de Karolinenhorst . .	15	1,775
(région de Stettin)	60	2,300
Grand marais des Mousses .	0 - 20	1,140
(région de Königsberg) . .	20 - 100	1,610

Page 374, avant-dernière ligne, au lieu de füllende, lire *fällende*.

— 375, — — Spüljanchen, lire *Spüljauchen*.

— 442, 13e ligne, au lieu de Vogels, lire *Vogel*.

— 452, 15e, 16e et 17e lignes. Remplacer la proposition qui suit *Pflanzenblutkohle* par : *ou charbon résultant de la calcination des plantes*. Pflanzenblut est pris pour *Pflanzensaft*, sève. Il faut donc supprimer les trois mots de la 17e ligne : et du sang. Il s'agit de cendres de végétaux, dont on a extrait la soude.

— 464, 21e ligne, au lieu de Buwzlau, lire *Bunzlau*.

— 478, 33e — — Lamperts, lire *Lampert*.

— 507, fig. 57, ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},3$.

— — fig. 58, — *idem*. = $0^{mm},22$.

Page 509, fig. 59, ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},01$.
— — fig. 60, — *idem.* = $0^{mm},02$.
— — fig. 61, — *idem.* = $0^{mm},05$.
— 510, fig. 62, remplacer Boto par *Bodo* et ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},03$.
— — fig. 63, ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},04$.
— — fig. 64, — *idem.* = $0^{mm},03$.
— — fig. 65, remplacer : Tatramitus par *Tetramitus* et ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},03$.
— — fig. 66, ajouter : *grandeur naturelle* = $0^{mm},04$.
— 512, fig. 67, — *idem.* = $0^{mm},2$.
— — fig. 68, — *idem.* = $0^{mm},1$.
— — fig. 69, — *idem.* = $0^{mm},07$.
— — fig. 70, — *idem.* = $0^{mm},3$.
— — fig. 71, — *idem.* = $0^{mm},02$.
— — fig. 72, — *idem.* = $0^{mm},1$.
— 513, fig. 73, — *idem.* = $0^{mm},4$.
— — fig. 74, — *idem.* = $0^{mm},08$.
— — fig. 75, — *idem.* = $0^{mm},18$.
— — fig. 76, — *idem.* = $0^{mm},04$.
— — fig. 77, — *idem.* = 3 mm.
— — fig. 78, — *idem.* = $0^{mm},05$.
— 515, fig. 81, — *idem.* = 13 mm.
— 516, fig. 82, — *idem.* = 8 à 12 mm.
— — fig. 83, — *idem.* = 5 à 10 mm.
— 517, fig. 84, — *idem.* = $0^{mm},25$ à $0^{mm},5$.
— — fig. 85, — *idem.* = 1 à 2 mm.
— 518, fig. 86, — *idem.* = 1 à 3 mm.
— — fig. 87, — *idem.* = 1 à 2 mm.
— — fig. 88, — *idem.* = 5 à 15 mm.
— 519, fig. 89, — *idem.* = 10 à 20 mm.
— 521, fig. 95, — *idem.* = 10 à 20 mm.
— — fig. 96, — *idem.* = 10 à 30 mm.
— — fig. 97, remplacer Hydropsycha par *Hydropsyche* et ajouter : *grandeur naturelle* = 30 à 50 mm.

Page 521, fig. 98, remplacer Phyacophila pa r *Rhyacophila* et ajouter : *grandeur naturelle* = 30 à 40 mm.

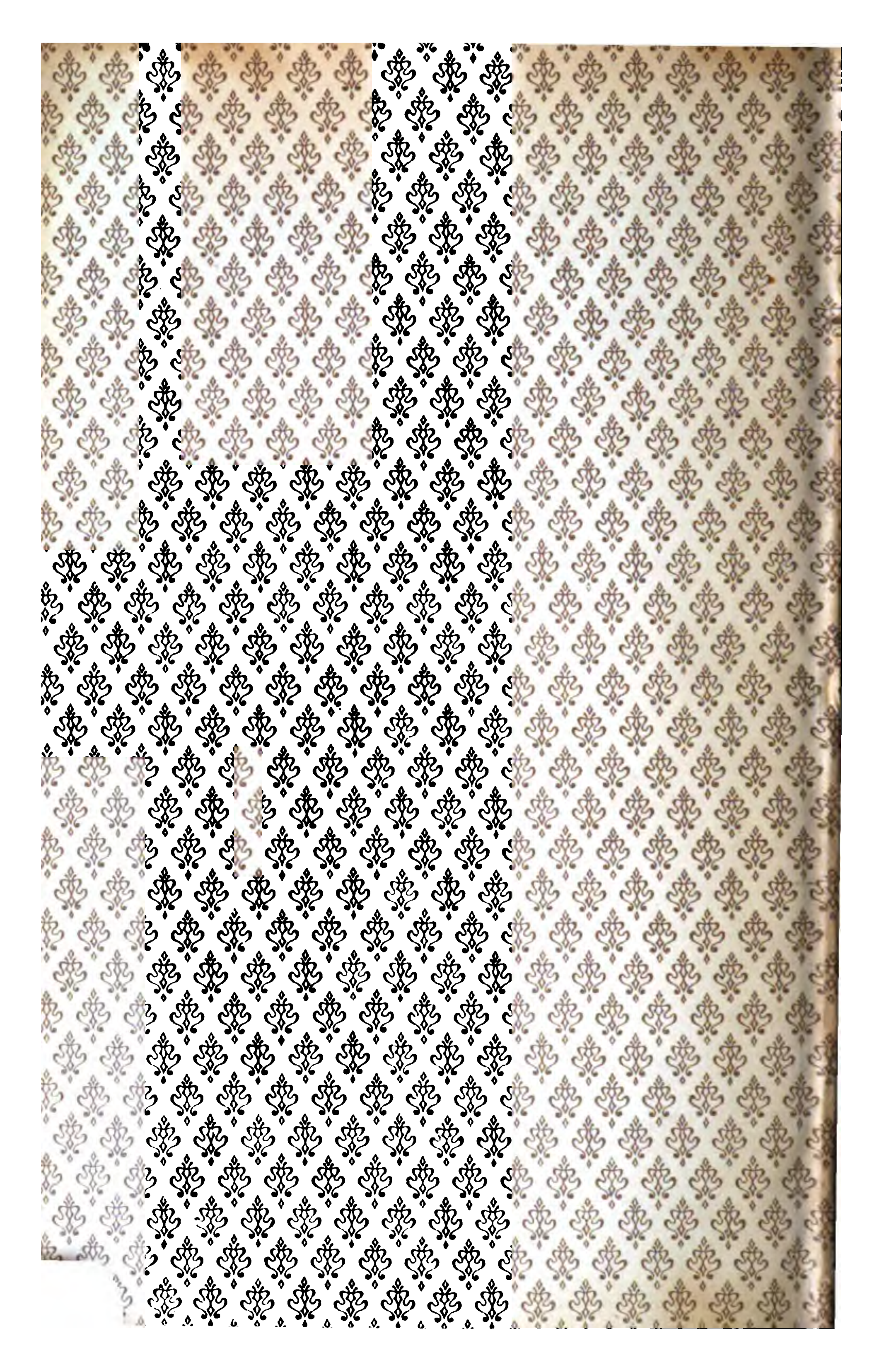
— — avant-dernière ligne, remplacer Phyacophila par *Rhyacophila*.

— — fig. 99, ajouter : *grandeur naturelle* = 5 à 10 mm.

— 551, 34e ligne, remplacer erschrekkendem par *erschreckenden*.

— 566, 19e — — Smidtmann par *Schmidtmann*.

— 574, au bas de la page, remplacer Vorschiften par *Vorschriften*.




UNIV. OF MICH.
RECEIVED

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06551 9350